



TUGAS AKHIR TL141584

**PENGARUH PENAMBAHAN NIKEL (Ni) TERHADAP
SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA
PADUAN ALUMINUM-SILIKON (Al-Si) MELALUI PROSES
PENGECORAN**

AHMAD SAIFULLAH
NRP. 2711 100 010

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, ST, M.Sc

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



FINAL PROJECT TL141584

**EFFECT OF NIKEL (Ni) ADDITION ON HARDNESS AND
MICROSTRUCTURE OF ALUMINUM SILICONE ALLOY
BY CASTING PROCESS**

AHMAD SAIFULLAH
NRP. 2711 100 010

Advisor
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, ST, M.Sc

Material and Metallurgical Engineering Dept.
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014

**Pengaruh Penambahan Nikel (Ni) Terhadap Sifat Kekerasan
dan Struktur Mikro Pada Paduan Aluminum-Silikon (Al-Si)
Melalu Proses Pengecoran**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Metalurgi Manufaktur
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**Ahmad Saifullah
NRP 2711 100 010**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc. (Pembimbing)



**SURABAYA
Januari 2015**



(halaman ini sengaja dikosongkan)

PENGARUH PENAMBAHAN NIKEL (Ni) TERHADAP SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN ALUMINUM – SILIKON MELALUI PROSES PENGECORAN

Nama : Ahmad Saifullah
NRP : 2711100010
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen : Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, ST, M.Sc

Abstrak

Paduan Aluminum-Silikon ini memiliki sifat mekanik yang tinggi, ringan, kemampuan cor, dan ketahanan korosi. Penambahan Nikel dapat meningkatkan kekekerasan dan ketahanan korosi dari paduan aluminium-silikon (Al-Si). Salah satu aplikasi paduan Aluminium-Silikon-Nikel (Al-Si-Ni) adalah blok mesin. Pada penelitian ini, Aluminium-Silikon dengan komposisi Silikon 10,5% (Al-10,5Si) dipadukan dengan nikel sebesar 0,2 , 0,4 , 0,6 dan 0,8 % berat (%b). Proses pemaduan dilakukan melalui peleburan (pengecoran) di dalam tungku gas (gas furnace) pada temperatur 1450 °C dan waktu penahanan selama 1 jam. Paduan didinginkan secara lambat di dalam tungku gas (gasfurnace) hingga mencapai temperatur kamar. Pengujian yang digunakan dalam studi ini adalah spektroskopi dispersi energi sinar-X (EDS/EDX), Difraksi sinar X (XRD), pengujian sifat kekerasan (Hardness Test), dan Metalografi (metallographic). Hasil pengujian EDS dan XRD menunjukkan terbentuknya paduan Al-Si-Ni. Sifat kekerasan paduan Al-Si-Ni menunjukkan peningkatan nilai kekerasan dengan meningkatnya penambahan Nikel. Pengamatan metalografi menunjukkan struktur mikro fasa Silikon Primer semakin kecil dengan penambahan Nikel.

Kata kunci: *Aluminum, silikon, Nikel, Pemaduan, Sifat kekerasan, Struktur mikro.*



(halaman ini sengaja dikosongkan)

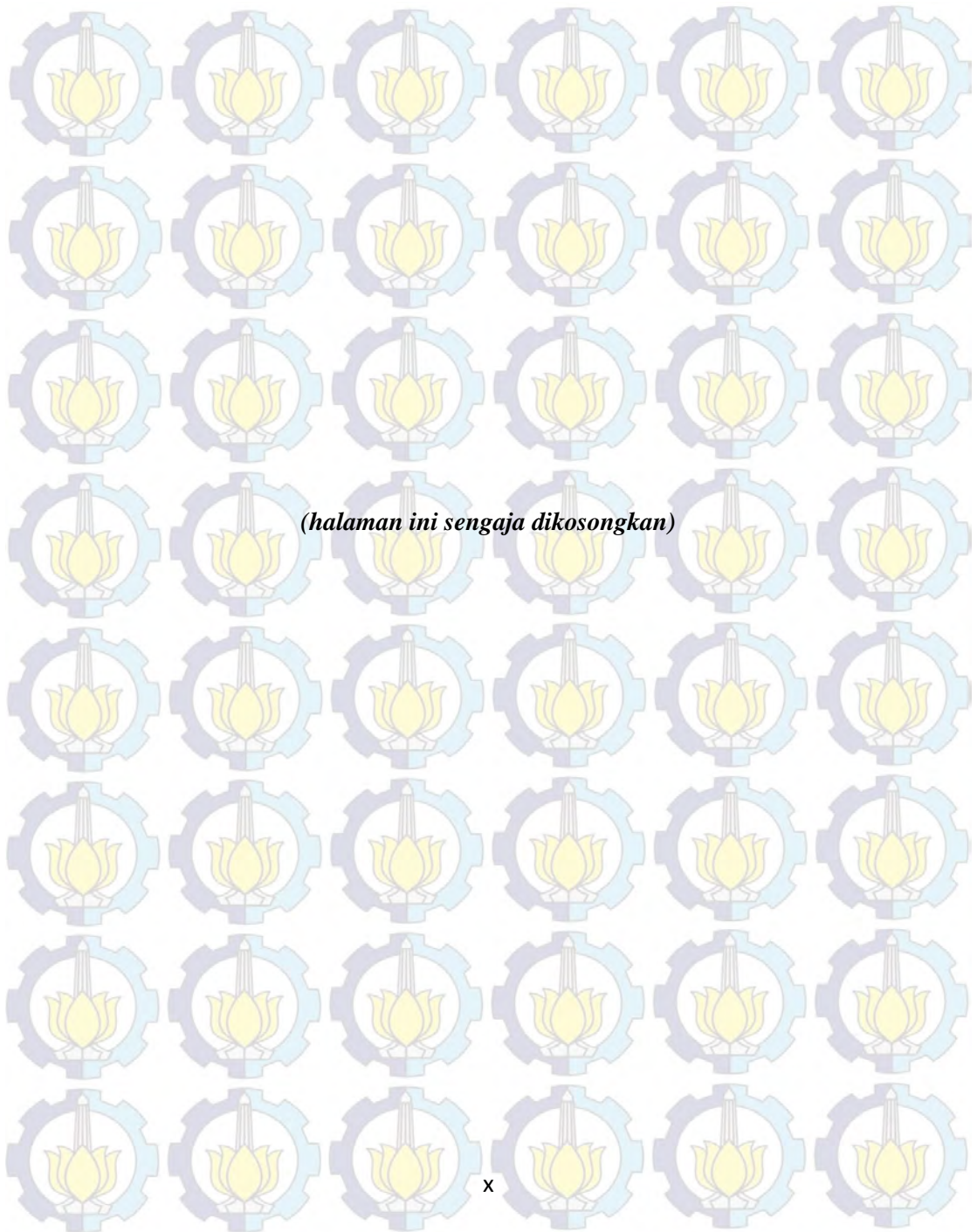
THE EFFECTS OF NICKEL ADDITION (Ni) ON THE HARDNESS AND MICROSTRUCTURE OF ALUMINUM – SILICON ALLOY THROUGH CASTING PROCESS

Name : Ahmad Saifullah
NRP : 2711100010
Department : Materials and Metallurgical Engineering
Supervisor : Dr. Eng.HostaArdhyananta, ST, M.Sc

Abstract

Aluminum-Silicon alloys are said to have high mechanical, light-weight, cast-able, and resist corrosion characteristics. The addition of nickel could increase the hardness and corrosion resistance of an aluminum-silicon alloy (Al-Si). One of the uses of an Aluminum-Silicon-Nickel (Al-Si-Ni) alloy is engine block. In this research, Aluminum-Silicon with Silicon composition of 10,5%wt (Al-10,5Si) were alloyed with nickel varying at 0,2 , 0,4 ,0,6 and 0,8 % weight (%wt). The alloying process was conducted through smelting (casting) inside a gas furnace at 1450°C and held for an hour. The alloy was then slowly cooled down in the furnace until the temperature reached ambient temperature. Tests being conducted in this study were Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS/EDX), X-ray diffraction test, hardness test, and metallographic test.. The results of EDS and XRD tests showed that Al-Si-Ni alloy was formed. The hardness of Al-Si-Ni alloy showed improvement as the nickel increased. Metallographic observation indicated smaller silicon primer phase as the nickel's amount increased.

Keywords: Aluminum, silicon, Nickel, Alloying, Hardness, Micro structure.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

x

KATA PENGANTAR

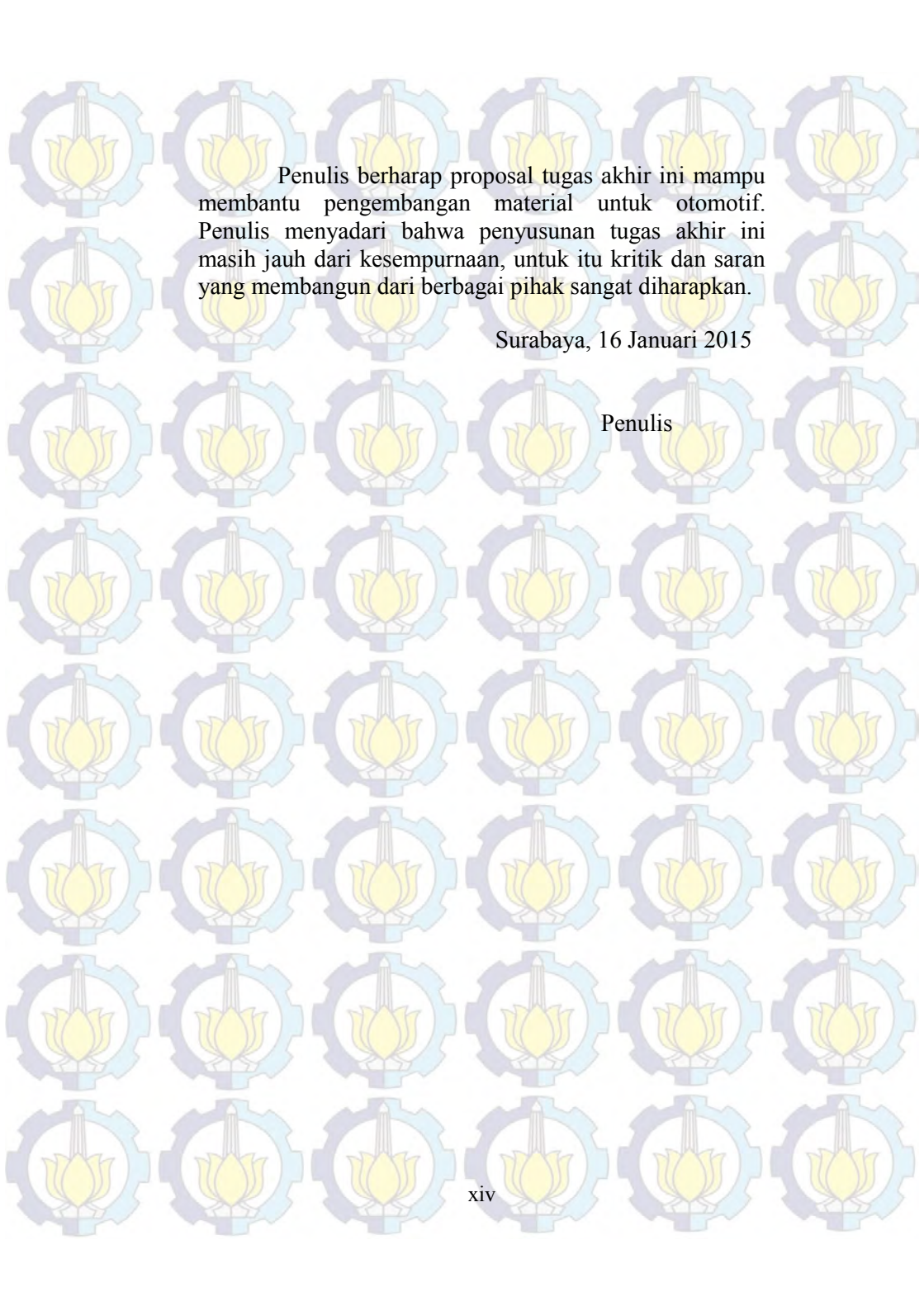
Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala anugerah dan petunjuk-Nya, penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul :

“Pengaruh Penambahan Nikel (Ni) Terhadap Sifat Kekerasan dan Struktur Mikro Paduan Aluminium-Silikon Melalui Proses Pengecoran

Proposal tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Kedua orang tua, Bapak Rofi'an dan Ibu Nur Hamidah yang selalu mendo'akan dan menyemangati serta memberikan dukungan kepada saya.
2. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir;
3. Bapak Dr. Lukman Nor Rochiem S.T., M.Sc selaku dosen wali;
4. Bapak Dr. Sungging Pintowantoro selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS;
5. Dosen Tim Penguji seminar dan sidang, serta seluruh dosen dan staff Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS;
6. Kepada para petugas dan karyawan Laboratorium Teknik Material dan Metalurgi;
7. Kepada Elia firda mufidah yang selalu memberi dorongan untuk selalu bersemangat;
8. Kepada pasukan woles yang selalu memberikan kesenangan dalam hidup;
9. Keluarga, relasi, Kiseki, Sobat Muda Kesma, dan seluruh orang berada disekeliling saya.



Penulis berharap proposal tugas akhir ini mampu membantu pengembangan material untuk otomotif. Penulis menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan.

Surabaya, 16 Januari 2015

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Aluminium	5
2.1.1 Sejarah Aluminium	5
2.1.2 Sifat-sifat Aluminium	6
2.1.3 Sistem Penamaan Aluminium	9
2.1.4 Struktur dan Sifat Coran.....	12
2.2 Silikon	13
2.3 Paduan Al-Si	15
2.4 Nikel.....	18
2.5 Paduan Al-Ni	20
2.6 Paduan Ni-Si	21
2.7 Paduan Al-Si-Ni.....	23
2.8 Pengecoran.....	23
2.8.1 Proses Penuangan Logam Al	24
2.8.2 Pola	25
2.8.3 Cetakan	26
2.8.4 Cetakan Pasir	28
2.8.5 Toleransi Penyusutan.....	30



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

2.9 Pemeriksaan Coran	31
2.10 <i>Finishing</i> dan <i>defect</i>	33
2.11 Furnace.....	34
2.12 Tanur Induksi.....	35
2.13 Blok Mesin.....	37
2.14 Kajian Penelitian Sebelumnya.....	39

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	41
3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian.....	42
3.2.1 Bahan Penelitian	42
3.2.2 Peralatan Penelitian.....	43
3.3 Variabel Penelitian.....	46
3.4 Pelaksanaan Penelitian.....	46
3.4.1 Persiapan Bahan.....	46
3.4.2 Proses Pengujian	47
3.4.2.1 Pengujian EDX	47
3.4.2.2 Pengujian XRD.....	48
3.4.2.3 Pengujian Metalografi.....	49
3.4.2.4 Pengujian Kekerasan.....	51
3.5 Rancangan Penelitian.....	52

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Coran Aluminium-Silikon-Tembaga.....	53
4.2 Komposisi Kimia Paduan Coran Al-Si-Cu	53
4.3 Pengamatan Hasil XRD Coran Al-Si-Cu	54
4.4 Hasil Uji Kekerasan	57
4.5 Pengamatan Struktur Mikro Coran	58

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	62
5.2 Saran	67

DAFTAR PUSTAKA LAMPIRAN



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Koefisien Pemuaian Termal Aluminium	7
Tabel 2.2 Sifat Mekanik Aluminium	8
Tabel 2.3 Klasifikasi Aluminium Tuang (<i>cast aluminium</i>) Sesuai Standar AA.....	9
Tabel 2.4 Standar aluminium Forming	12
Tabel 2.5 Sifat Fisik dan Mekanik Silikon	12
Tabel 2.6 Sifat Fisik Nikel	18
Tabel 2.7 Sifat Mekanik Nikel	19
Tabel 2.8 Temperatur Penuangan Untuk Berbagai Coran	28
Tabel 2.9 Toleransi Penyusutan Untuk Logam Cor Yang Penting	29
Tabel 2.10 Mechanical Properties Blok mesin	34
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian	52
Tabel 4.1 Komposisi Paduan Hasil EDX	54
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Brinell	57



(halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Kristal Al	6
Gambar 2.2	Struktur Kristal Si	15
Gambar 2.3	Diagram Fasa Al-Si	16
Gambar 2.4	Mikrostruktur Paduan Al-Si	17
Gambar 2.5	Produk Paduan Al-Si	18
Gambar 2.6	Struktur Kristal Ni	19
Gambar 2.7	Diagram Fasa Al-Ni	20
Gambar 2.8	Metalografi Al-Ni	21
Gambar 2.9	Diagram Fasa Ni-Si	22
Gambar 2.10	Struktur Mikro Ni-Si	23
Gambar 2.11	Dasar Proses Furnace	34
Gambar 2.12	Tanur Induksi	36
Gambar 2.13	Blok Mesin	38
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	41
Gambar 3.2	Paduan Al-10,5%Si	42
Gambar 3.3	Nikel	42
Gambar 3.4	Furnace (Tungku)	43
Gambar 3.5	Crucible (Krus)	43
Gambar 3.6	Timbangan Digital	44
Gambar 3.7	Kikir	44
Gambar 3.8	Gergaji Tangan	45
Gambar 3.9	Gergaji Mesin	46
Gambar 3.10	Sistem Kerja EDX	47
Gambar 3.11	Prinsip Kerja XRD	49
Gambar 3.12	Daerah Lingkup Ukuran Mikro Struktur	50
Gambar 4.1	Hasil coran Al 10,5Si	53
Gambar 4.2	Hasil XRD Coran Paduan Al-Si	55
Gambar 4.3	Hasil Pengujian XRD Paduan Al-Si-Ni	56
Gambar 4.4	Nilai Kekerasan Dari Paduan Al-Si-Ni	58
Gambar 4.5	Struktur Mikro Paduan Al-Si-Ni	60
Gambar 4.6	Struktur Mikro Paduan Al-Si-Ni	61



Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Bahan logam dapat dikelompokkan dalam dua kelompok yaitu logam besi (ferro) dan logam bukan besi (non ferro). Logam ferro yaitu suatu logam paduan yang terdiri bahan dasar besi (Fe) dengan karbon (C) dan juga mengandung beberapa unsur lain seperti mangan, fosfor, belerang dan lainnya. Contoh logam ferro misalnya besi tuang, besi tempa dan baja. Logam non ferro yaitu logam yang tidak mengandung unsur besi (Fe) misalnya tembaga, aluminum, timah dan lainnya. (Van Vliet, 1984). Aluminum ialah logam yang berwarna putih terang dan sangat mengkilap dengan titik cair 660°C sangat tahan terhadap pengaruh atmosfer juga bersifat electrical dan Thermal Conductor dengan koefisien yang sangat tinggi. Chromium bersifat non magnetic. Secara komersial Aluminum memiliki tingkat kemurnian hingga 99,9 %, dan Aluminum non paduan kekuatan tariknya ialah 60 N/mm² dan dikembangkan melalui proses pengerjaan dingin dapat ditingkatkan sesuai dengan kebutuhannya hingga 140 N/mm² (Hardi, 2008).

Logam ferro seperti baja masih mendominasi untuk material perencanaan komponen mesin maupun dalam bidang konstruksi. Sedangkan, penggunaan logam non ferro terus meningkat dari tahun ke tahun seperti logam aluminium (Davis, 2001). Hal ini terlihat dari urutan penggunaan logam paduan aluminium yang menempati urutan kedua setelah penggunaan logam baja, dan diurutan pertama untuk logam non ferro (Davis, 2001). Pemakaian aluminium khususnya pada industri otomotif juga terus meningkat seiring meningkatnya jumlah kendaraan bermotor di Indonesia. Contoh komponen otomotif yang terbuat dari paduan aluminium, adalah piston, blok mesin, cylinder head, valve dan lain sebagainya. Penggunaan paduan aluminium untuk komponen otomotif dituntut memiliki kekuatan yang baik. agar aluminium mempunyai kekuatan yang baik biasanya logam



aluminum dipadukan dengan unsur-unsur seperti: Cu, Si, Mg, Ni dan sebagainya (Van Vliet, 1984).

Nikel merupakan logam yang mudah dipadukan dengan berbagai logam lain. Logam nikel dapat menjadi base dari logam dan bisa menjadi paduan pada logam lain baik ferro maupun non ferro. Nikel memiliki sifat ketahanan dalam hal korosi, panas, *Stress-Corrosion Cracking*, *electrical*, dan penstabil austenit. Nikel memberikan penambahan kekerasan dan ketahanan panas yang baik (ASM Metal Handbook vol.2, 1992).

Salah satu aplikasi dari paduan aluminum adalah *cylinder block* atau blok mesin merupakan komponen pada mesin yang berfungsi sebagai tempat bergerak semua komponen mesin untuk bisa berfungsi dengan baik. Pada bagian komponen ini sering mendapatkan gesekan dan getaran akibat kerja dari mesin. Blok mesin harus memiliki karakteristik memiliki kekuatan tinggi, modulus elastisitas, ketahanan abrasi, dan ketahanan korosi. Selain itu blok mesin harus mempunyai kemampuan meredam getaran yang baik untuk bisa menyerap getaran akibat pergerakan mesin (Nguyen, 2005).

Pengecoran atau penuangan (casting) merupakan salah satu proses pembentukan bahan baku/bahan benda kerja dengan pengendalian kualitas benda kerja dimulai sejak bahan dalam keadaan mentah. Komposisi unsur serta kadarnya dianalisis agar diperoleh suatu bahan sesuai dengan kebutuhan sifat produk yang direncanakan (Hardi, 2008). Proses pengecoran logam untuk menghasilkan suatu produk benda coran yang berkualitas baik dengan komposisi yang dikehendaki maka ada beberapa faktor yang mempengaruhi yaitu bahan baku coran, komposisi bahan baku, kualitas pasir cetak (bila menggunakan cetakan pasir), sistem peleburan, sistem penuangan dan pengerjaan akhir dari produk coran (Surdia Tata dkk., 1984).

Paduan silikon dalam aluminum jenis ini menghasilkan keuntungan-keuntungan seperti sifat mampu cor yang baik, mudah dilakukan proses permesinan dan ketahanan terhadap korosi yang baik. Peningkatan mampu cor yang baik dan



meningkatkan sifat mekanis dan meminimalisasi kegagalan pada komponen-komponen mesin yang dihasilkan. Paduan Al-Si ini juga dapat ditambahkan unsur-unsur lain seperti Cu, Mg atau Ni (Mahle, 2012). Studi ini meneliti pengaruh penambahan Ni pada paduan Al-Si. Penambahan nikel berfungsi untuk menaikkan sifat kekerasan pada paduan aluminium-silikon yang diaplikasikan pada blok mesin. Penambahan nikel memberikan ketahanan sifat mekanik pada temperatur tinggi. Studi ini menitikberatkan pada pengujian kekerasan sebagai alasan dalam penambahan nikel pada paduan aluminium-silikon.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh Nikel (Ni) terhadap sifat kekerasan paduan Aluminium-silikon?
2. Bagaimana pengaruh kadar Nikel (Ni) terhadap struktur mikro paduan Aluminium-Silikon?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Temperatur peleburan dianggap homogen.
2. Pemaduan dianggap homogen.
3. Reaksi cetakan dengan logam diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh penambahan Nikel (Ni) terhadap kekerasan paduan Aluminium-Silikon (Al-Si)
2. Menganalisis pengaruh penambahan Nikel (Ni) terhadap struktur mikro paduan Aluminium-Silikon (Al-Si).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah agar dapat menghasilkan paduan logam Aluminium-Silikon-Nikel melalui proses pengecoran. Paduan ini diharapkan mempunyai sifat



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

kekerasan yang baik sehingga dapat meningkatkan daya guna paduan tembaga dengan merekayasa komposisi berat Nikel (Ni) sehingga sangat bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya di bidang manufaktur.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aluminum

2.1.1 Sejarah Aluminum

Aluminum ditemukan oleh Sir Humphrey Davy dalam tahun 1809 sebagai suatu unsur, dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H. C. Oersted tahun 1825. Secara industry tahun 1886, Paul Heroult di Perancis dan C. M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh logam aluminum dari alumina dengan cara elektrolisa dari garamnya yang terdifusi. Sampai sekarang proses Heroult Hall masih dipakai untuk memproduksi aluminum. Penggunaan aluminum sebagai logam setiap tahunan adalah pada urutan kedua setelah besi dan baja, yang tertinggi di antara logam non ferro. Produksi Aluminum tahunan di dunia mencapai 15 juta ton per tahun pada tahun 1981 (Surdia, 1999).

Aluminum diperkirakan berjumlah sebesar 8% dari lapisan kulit bumi, sehingga aluminum menjadi salah satu dari sekian elemen-elemen yang berlimpah. Aluminum adalah unsur dari banyak material silikat, beberapa digunakan sebagai permata dan sebagai bahan penting untuk industry. L.F Mondolfo (1976) mengatakan bahwa aluminum primer diproduksi dari berbagai grade, normalnya antara 99% hingga 99,999%. Dan aluminum sekunder diproduksi dari peleburan ulang skrap fabrikasi atau peralatan usang dan biasanya ditemukan dalam bentuk paduan. Bahkan dengan meleburkan ulang bahan-bahan berkualitas tinggi seperti kabel elektronik, atau batangan bus. Aluminum murni sekunder yang dihasilkan tidak semurni aluminum primer karena kontaminasi material lain

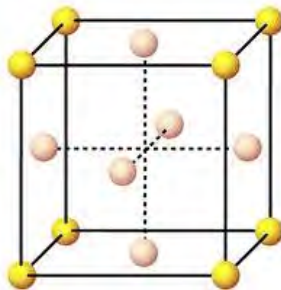


yang tidak dapat dihindari. Pengotor yang banyak ditemui di aluminum primer berasal dari bahan mentah (bauksit, soda, karbon, dan lain-lain), oleh karena itu, untuk sebagian besar jumlah bahan mentah harus dapat mengendalikan sifat dan tingkat dari pengotor. Bagaimanapun, faktornya bukan hanya ini saja, variasi substansi dalam komposisi ditemukan di berbagai kelompok dari sumber yang sama.

2.1.2 Sifat-Sifat Aluminum

Aluminum telah menjadi salah satu logam industri yang paling luas penggunaannya di dunia. Aluminum banyak digunakan di dalam semua sektor utama industri seperti angkutan, konstruksi, listrik, peti kemas dan kemasan, alat rumah tangga serta peralatan mekanis.

Aluminum mempunyai struktur kristal *Face Centered Cubic*, dengan bilangan koordinasi 12 dan 4 atom di unit sel nya. Transformasi alotropik pada 870°K dan 350°K dikemukakan untuk menjelaskan diskontinuitas pada perubahan sifat, namun pada investigasi lebih lanjut pada logam yang lebih murni terbukti bahwa pada tekanan normal mulai temperatur 4°K hingga temperatur lebur tidak ada transformasi alotropik.



Gambar 2.1 Struktur kristal Aluminum (FCC)



Adapun sifat-sifat aluminum antara lain sebagai berikut (Leighou, 1953):

- a. Ringan, memiliki bobot sekitar $\frac{1}{3}$ dari bobot besi dan baja, atau tembaga dan banyak digunakan dalam industri transportasi seperti angkutan udara.
- b. Tahan terhadap korosi, sifatnya durable sehingga baik dipakai untuk lingkungan yang dipengaruhi oleh unsur-unsur seperti air, udara, temperatur dan unsur-unsur kimia lainnya, baik di ruang angkasa atau bahkan sampai ke dasar laut.
- c. Kuat, aluminum memiliki sifat yang kuat terutama bila dipadu dengan logam lain. Digunakan untuk pembuatan komponen yang memerlukan kekuatan tinggi seperti: pesawat terbang, kapal laut, bejana tekan, kendaraan dan lain-lain.
- d. Mudah dibentuk, proses pengerjaan aluminum mudah dibentuk karena dapat disambung dengan logam/material lainnya dengan pengelasan, brazing, solder, adhesive bonding, sambungan mekani, atau dengan teknik penyambungan lainnya.
- e. Konduktor listrik, aluminum dapat menghantarkan arus listrik dua kali lebih besar jika dibandingkan dengan tembaga. Karena aluminum tidak mahal dan ringan, maka aluminum sangat baik untuk kabel-kabel listrik overhead maupun bawah tanah.
- f. Konduktor panas, sifat ini sangat baik untuk penggunaan mesin-mesin/alat-alat pemindah panas sehingga dapat memberikan penghematan energy.
- g. Memantulkan sinar dan panas, aluminum dapat dibuat sedemikian rupa sehingga memiliki kemampuan pantul yang tinggi yaitu sekitar 95% dibandingkan dengan kekuatan pantul sebuah cermin. Sifat pantul ini



menjadikan aluminum sangat baik untuk peralatan penahan radiasi panas.

- h. Non magnetic, aluminum sangat baik untuk penggunaan pada peralatan elektronik, pemancar radio/TV dan lain-lain.

Dan di ASM Handbook Volume 2 (1990) dijelaskan sifat-sifat Aluminum sebagai berikut:

1. Sifat Termal

Temperatur lebur : $660,4^{\circ}\text{C}$

Temperatur didih : 2494°C

Pemuaian Termal:

Tabel 2.1 Koefisien pemuaian termal aluminum (ASM Handbook Volume 2, 1990)

Rentang Temperatur, $^{\circ}\text{C}$	Koefisien Rata-Rata, $\mu\text{m/m.k}$
-200 hingga 20	18,0
-150 hingga 20	19,9
-100 hingga 20	21,0
-50 hingga 20	21,8
20 hingga 100	23,6
20 hingga 200	24,5
20 hingga 300	25,5
20 hingga 400	26,4
20 hingga 500	27,4

Konduktivitas termal : 247 W/m.K pada 25°C

90 W/m.K pada $660,4^{\circ}\text{C}$



2. Sifat Mekanik

Tabel 2.2 Sifat mekanik aluminum (ASM Handbook
Volume 2, 1990)

Kemurnian, %	Kekuatan Tarik Yield, ±0,2%		Kekuatan Tarik		Pemanjangan dalam 50 mm, %
	Mpa	ksi	MPa	ksi	
99,99	10	1,4	45	6,5	50
99,8	20	2,9	60	8,7	45

2.1.3 Sistem Penamaan Aluminum

Paduan ini dibuat dengan metode pengecoran seperti biasanya, meliputi cetakan pasir, cetakan permanen, dan proses cetak gips. Kekuatan dari aluminum murni (99,5%) terlalu rendah untuk digunakan. Aluminum dapat diperkuat dengan memadukan tembaga (hingga 10%), silikon (hingga 14%), magnesium (hingga 10%), atau seng (hingga 20%). Sebagian besar paduan coran aliminum berisi satu atau lebih dari bahan tersebut sebagai unsur pepadu. Dalam jumlah yang lebih kecil, unsur lain seperti kromium, titanium, nikel, sodium, dan timah dapat dipadukan untuk kebutuhan tertentu.

Aluminum dipakai sebagai paduan dari pada sebagai logam murni, sebab tidak kehilangan sifat ringan dan sifat-sifat mekanisnya dan mampu cornya diperbaiki dengan menambah unsur-unsur lain. Unsur-unsur paduan itu adalah tembaga, silikon, magnesium, mangan, nikel, dan sebagainya yang dapat mengubah sifat-sifat paduan



aluminum. Aluminum dan paduannya dipilih karena kekuatannya yang relatif baik, ketahanan terhadap korosi, *machinability* yang baik, mudah dicor, dan cukup ekonomis (Surdia, 2006).

Secara garis besarnya aluminum digolongkan atas 2 kelas yaitu kelas aluminum tempa (*wrought aluminum*) dan Aluminum tuang (*cast alumiium*). Kedua kelas tersebut disusun berdasarkan standar *Aluminum Association* (AA). Khusus untuk jenis aluminum tuang, system penamaan aluminum berdasarkan standar AA dibagi lagi atas 8 kelas dimana kelas-kelas tersebut disusun berdasarkan unsur paduan utama yang digunakan. System tata nama ini menggunakan system 4 digit angka, seperti pada Tabel 2.4

Tabel 2.3 Klasifikasi Aluminum Tuang (*cast Aluminum*)
sesuai standar AA

Kelas	Unsur paduan utama
1xx.x	Aluminum murni (99,00% atau lebih)
2xx.x	Al-Cu alloy
3xx.x	Al-Si-Cu dan atau Mg
4xx.x	Al-Si
5xx.x	Al-Mg
7xx.x	Al-Zn
8xx.x	Al-Sn
9xx.x	Al dengan unsur-unsur lain

Paduan Aluminum yang umum digunakan untuk *Sand Casting* antara lain (Surdia, 1999):

1. Paduan Aluminum-Tembaga
Kadar tembaga berkisar antara 4-10%. Unsur ini membuat paduan bersifat kuat dan keras. Paduan ini



digunakan untuk pengecoran mesin, tempat poros engkol, ruang transmisi, dan lain-lain.

2. Paduan Aluminium-Silikon

Kadar Silikon hingga 5% dapat menaikkan karakteristik coran dan banyak menambah ketahanan korosi. Paduan ini digunakan untuk coran kebutuhan dalam air, pipa, alat masak, torak motor dan lain-lain.

3. Paduan Aluminium-Tembaga-Silikon

Unsur tembaga hingga 4% dan silikon hingga 3% dalam paduan ini memberikan kekuatan yang baik dan ketahanan korosi yang tinggi. Paduan ini digunakan dalam pengecoran yang membutuhkan tekanan yang ketat dan untuk bagian mesin mobil.

4. Paduan Aluminium-Magnesium

Kadar magnesium hingga 4% meningkatkan *machinability* dan ketahanan korosi, juga mengurangi berat komponen.

5. Paduan Aluminium-Tembaga-Magnesium-Nikel

Mengandung unsur Tembaga sekitar 3,5%, magnesium 1,5%, nikel 2%.

6. Paduan Aluminium-Mangan

Kadar mangan sekitar 1,5-2,5% memberikan sifat coran yang tahan kebocoran. Paduan tersebut digunakan pada tangki dan pipa.

Tabel 2.4 Standar Aluminum Forming (Yudy, 2008)

Kelas	Paduan	Sifat
1000	Al murni	Non Heat treatable
3000	Al-Mn	Non Heat treatable
4000	Al-Si	Non Heat treatable
5000	Al-Mg	Non Heat treatable
2000	Al-Cu	Heat treatable



6000	Al-Mg-Si	Heat treatable
7000	Al-Zn	Heat treatable

2.1.4 Struktur dan Sifat Coran Paduan Aluminium

Aluminium banyak dipakai sebagai logam paduan daripada sebagai logam murni, sebab tidak kehilangan sifat ringan dan sifat mekanisnya dan mampu cornya diperbaiki dengan menambah unsur-unsur lain. Unsur-unsur paduan itu adalah tembaga, silikon, magnesium, mangan, nikel, dan sebagainya, yang dapat mengubah sifat-sifat paduan Aluminium (Surdia, 2006).

1. Paduan Aluminium-tembaga, Aluminium-tembaga-silikon

Paduan Aluminium-tembaga adalah paduan Aluminium yang mengandung tembaga 4,5%, memiliki sifat-sifat mekanik dan mampu mesin yang baik sedangkan mampu cornya agak jelek. Paduan Aluminium-tembaga-silikon dibuat dengan menambah 4-5% silikon pada paduan Aluminium-tembaga untuk memperbaiki mampu cornya, paduan ini disebut “lental”, adalah salah satu dari paduan Aluminium yang terutama.

2. Paduan Aluminium-silikon, Aluminium-silikon-magnesium

Paduan eutektik dari Aluminium dan silikon sekitar 2% disebut silumin yang memiliki mampu cor yang baik, sehingga terutama dipakai untuk bagian-bagian mesin biasa. Tetapi paduan yang biasa dicor mempunyai sifat mekanik yang buruk karena butir-butir silikon yang besar, sehingga ia dicor dengan tambahan natrium dan agitasi dari logam cair untuk membuat kristal halus dan memperbaiki sifat-sifat mekanik. Tapi cara ini tidak efektif untuk coran tebal.



3. Paduan Aluminum-magnesium

Paduan Aluminum yang mengandung magnesium sekitar 4% atau 10% mempunyai ketahanan korosi dan sifat-sifat mekanik yang baik. Ia mempunyai kekuatan tarik di atas 30 kgf/mm² dan perpanjangan di atas 12% setelah perlakuan panas. Paduan ini disebut hidronalium dan dipakai untuk bagian-bagian dari alat-alat industri kimia, kapal laut, kapal terbang, dan sebagainya, yang membutuhkan ketahanan korosi.

4. Paduan Aluminum tahan panas

Paduan Y ialah paduan Al-Cu-Ni-Mg yang kekuatannya tidak berubah sampai 200°C dan sangat tinggi walaupun pada temperatur 300°C, sehingga paduan ini dipergunakan untuk torak atau tutup silinder. Lo-Ex adalah paduan Al-Si-Cu-Ni-Mg, yang mempunyai koefisien muai rendah dan kekuatan panasnya tinggi, sehingga ia dipakai untuk torak dan sebangsanya.

2.2 Silikon

Silikon (Si) merupakan unsur kedua terbanyak setelah oksigen (O) dalam kerak bumi dan Si juga berada dalam jumlah yang banyak pada setiap tanah. Porsi terbesar Si tanah dijumpai dalam bentuk kuarsa atau kristal silikon (Buol et. al., 1980). Pada umumnya tanah mengandung 5-40% Si (Kovda, 1973). Dalam setiap kilogram tanah liat terkandung sekitar 200-320 gram Si, sementara dalam tanah berpasir terdapat antara 450-480 gram Si (Kovda, 1973). Si merupakan unsur yang *inert* (sangat tidak larut) sehingga selama ini Si dianggap tidak memiliki arti penting bagi proses-proses biokimia dan kimia. Juga, karena jumlahnya yang melimpah dalam tanah peran Si seringkali tidak terlalu diperhatikan atau bahkan tidak teramati.

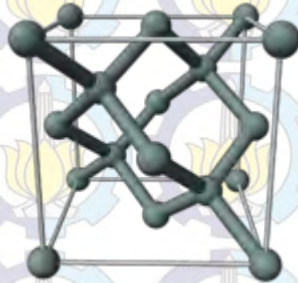


Silikon pada paduan Aluminum memiliki efek yang besar pada proses pengecorannya. Efek dari penambahan silikon ini adalah meningkatkan fluiditas, hot tear resistance, komposisi silikon pada paduan Aluminum adalah 30% yang dimana mencapai range hypoeutectoid dan hypoeutectic. silikon juga berperan besar pada fluiditas silikon yang dimana ketika fluiditas tinggi maka semakin mudah untuk mengecor cor-coran yang kompleks (J.G.Kaufmann, 2011).

Tabel 2.5 Sifat Fisik dan Mekanik Silikon (William C. O'Mara, 1990)

Si Properties	
Density	2,3291 g/cm ³
Melting Point	1420 °C
Molecular Weight	28.086
Thermal Conductivity	1,63 W/(cm K); 1,4 W/(cm K)
Thermal Expansion	4,05 x 10 ⁻⁶ / K
Young's Modulus	131 GPa
Shear Modulus	79,9 GPa
Bulk Modulus	102 GPa
Hardness	1150 (Mohs 7)

Silikon sebagai paduan utama pada beberapa pengecoran logam mempunyai mampu cor yang baik, hal ini disebabkan oleh pengaruh dari silikon dalam memperbaiki karakteristik pengecoran yang dikombinasikan dengan sifat mekanik dan ketahanan korosi (Zotolorovsky, 2007). Silicon mempunyai struktur kristal *diamond cubic*.



Gambar 2.2 Struktur Kristal silikon (diamond cubic)

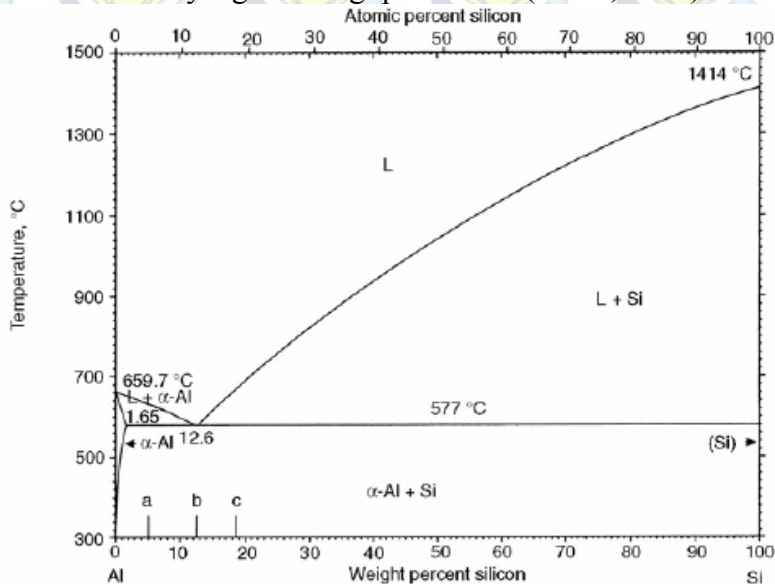
2.3 Paduan Aluminum-Silikon (Al-Si)

Aluminum paduan dengan silikon sebagai unsur paduan utama adalah kelas paduan yang mempunyai mampu cor yang baik hingga penggunaannya hampir mencapai 90% dari total pengecoran Aluminum (Zotolorovsky, 2007). Hal ini disebabkan oleh pengaruh dari silikon dalam memperbaiki karakteristik pengecoran Aluminum, yang dikombinasikan dengan peningkatan sifat mekanik dan ketahanan korosi. Penambahan kandungan silikon juga akan meningkatkan nilai kekerasan paduan Al-Si. Peningkatan oleh fluiditas logam cair yang semakin baik seiring dengan penambahan jumlah kandungan silikon. Sebagai tambahan, paduan ini mempunyai permukaan yang bagus sekali, tanpa kegetasan panas, sangat baik untuk paduan coran, sangat ringan, koefisien pemuaian yang kecil dan sebagai penghantar yang baik untuk listrik dan panas. Karena memiliki kelebihan yang mencolok, paduan ini sangat banyak dipakai (Surdia, 1999).

Paduan Aluminum-silikon digunakan secara luas di bidang otomotif khususnya piston karena memiliki ketahanan aus dan korosi yang baik, koefisien ekspansi termal yang rendah dan memiliki rasio kekuatan dan berat



yang tinggi. Paduan Aluminum yang diperuntukkan untuk ketahanan aus merupakan paduan Aluminum dengan dasar system paduan Aluminum-silikon. Sistem biner ini merupakan system paduan eutektik sederhana dengan komposisi eutektik pada 12,4% berat Si. Pada temperatur kamar, paduan hipoeutektik mengandung fase Aluminum primer yang lunak dan ulet serta mengandung fase silikon yang keras dan getas sesuai dengan reaksi eutektik. Fase silikon inilah yang memberikan kontribusi terhadap ketahanan aus yang baik bagi paduan ini (Davis, 2001).

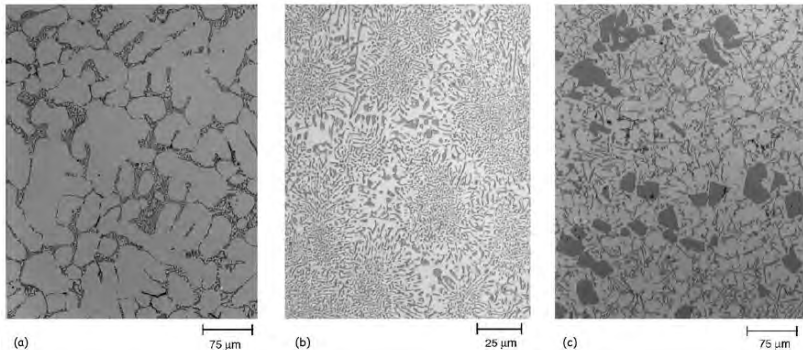


Gambar 2.3 Diagram Fasa Paduan Aluminum-Silikon
(Warmuzek, 2004)

Paduan Al-Si Hipereutektik merupakan paduan yang paling banyak dipakai untuk keperluan ketahanan aus (*wear resistant*) mengandung partikel silikon primer berukuran besar (*coarse*) dan bersudut (*angular*) disamping juga



mengandung eutektik silikon. Partikel silikon primer ini menghasilkan ketahanan aus yang amat baik bagi paduan ini (Harun, 1994).



Gambar 2.4 Mikrostruktur Paduan cor Aluminium-Silikon Komersial. (a) Mikrostruktur Paduan Hypoeutektik Sand Cast (1,65-12,6 wt% Si). (b) Mikrostruktur Paduan Eutektik Permanent Mold (12,6% Si). (c) Mikrostruktur Paduan Hypereutektik Die Cast (>12,6% Si) (Warmuzek, 2004)

Selama pembekuan, dendrit-dendrit Aluminium hampir murni membeku pertama kali. Aluminium-silikon eutektik akan mengisi ruang kosong antar dendrite. Ketika eutektik membeku, eutektik akan terurai menjadi Aluminium hampir murni dan silikon. Seiring bertambahnya kecepatan pembekuan, sel-sel dendrite menjadi kecil. Terlihat pada **Gambar 2.2**, paduan hypoeutektik dengan produksi sand cast (a) menghasilkan sel-sel dendrite yang besar dari pendinginan lambat selama pembekuan. Paduan dengan permanent mold (b) dengan pendinginan cepat menghasilkan ukuran sel dendrite yang lebih kecil. Dan paduan dengan die casting (c) dimana dengan pendinginan



yang sangat cepat menghasilkan ukuran sel dendrite yang sangat kecil (Smith, 1993).



Gambar 2.5 Produk Al-Si (Aluminum association, 2011)

2.4 Nikel

Nikel merupakan logam serbaguna yang banyak dipakai di dunia industri. Nikel merupakan komponen penting untuk paduan Stainless steel (kebanyakan pada austenitic stainless steel dengan jumlah 8 – 10 % Ni). Logam ini banyak digunakan tergantung pada jenis paduannya. Biasanya nikel dalam pasaran mempunyai kemurnian 99,95%. dengan kadar tersebut dirasa cukup memuaskan, tetapi untuk sifat-sifat tertentu seperti *electrical resistivity*, sangat sensitive terhadap impurities pada solid solution (ASM Internaional, 2000)

Nikel memiliki nomer atom 28 dengan berat masa 58,6394. Nikel memiliki struktur FCC (Face-Centered Cubic). Beberapa physical properties dan Mechanical Properties dari nikel yaitu (ASM Interntional,2000) :

Tabel 2.6 Physical Properties Nikel

Struktur kristal	FCC
<i>Density</i>	8,902 g/cm ³
Melting point	1453 °C
Thermal expansion	13,3 µm/m K
Specific heat	0,471 kJ/kg K

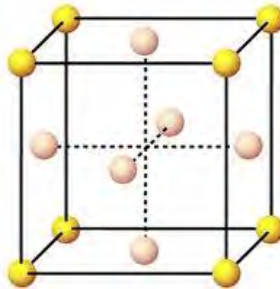


Thermal Conductivity	82,9 W/m
Electrical resistivity	68,44 nΩ m

Tabel 2.7 Mechanical Properties Nikel

Tensile strength	317 MPa
Hardness	64 HV, 35 HRB
Modulus Young	207 GPa
Modulus of shear	76 GPa

Sampai saat ini penggunaan nikel masih di dominasi pada stainless steel. Sebagai bahan paduan logam nikel menempati urutan ke-4 dengan 9,5 %. Data penggunaan nikel (ASM Handbook Vol.2, 1990)



Gambar 2.6 Struktur Kristal Nikel (FCC)

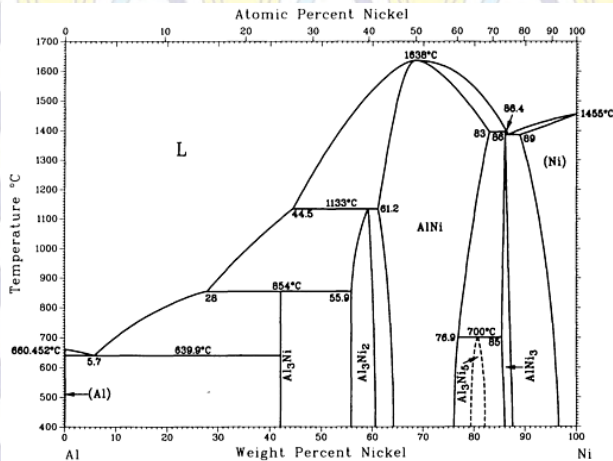
Pengaruh penambahan Ni pada paduan Aluminum dapat menambah kekerasan dan ketahanan panas. Selain itu dapat memberikan ketahan korosi dan kekuatan mampur cor yang baik.

2.5 Paduan Aluminum-Nikel (Al-Ni)

Aluminum murni adalah logam yang lunak, tahan lama, ringan, dan dapat ditempa dengan penampilan luar bervariasi antara keperakan hingga abu-abu, tergantung kekasaran permukaannya. Kekuatan tarik Aluminum murni adalah 90 MPa, sedangkan Aluminum paduan memiliki kekuatan tarik berkisar

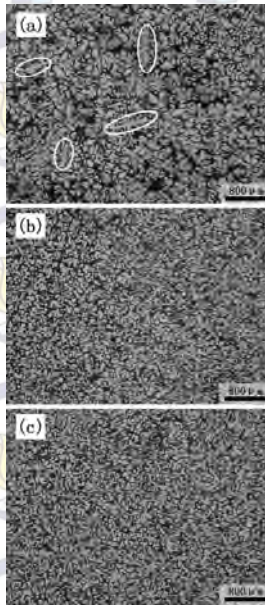


hingga 600 MPa. Aluminium memiliki berat sekitar satu pertiga baja, mudah ditekuk, diperlakukan dengan mesin, dicor, ditarik (*drawing*), dan diekstrusi. Resistansi terhadap korosi terjadi akibat fenomena pasivasi, yaitu terbentuknya lapisan Aluminium Oksida ketika Aluminium terpapar dengan udara bebas.



Gambar 2.7 diagram fasa Al-Ni (ASM Metal handbook vol.3,1990)

Dalam keadaan murni Aluminium terlalu lunak, terutama kekuatannya sangat rendah untuk dapat dipergunakan pada berbagai keperluan teknik. Dengan pepaduan ini dapat diperbaiki tetapi seringkali sifat tahan korosinya berkurang, demikian juga keuletannya. Nikel ditambahkan dengan tujuan untuk menambah ketahanan sifat mekanik pada temperatur tinggi dengan membentuk paduan Aluminium nikel.



Gambar 2.8 Metallografi Al–Ni alloys dengan perbedaan intensitas arus: (a) 0A, (b) 80 A, (c) 140 A. Al_3Ni_2 (light grey) and Al_3Ni (black). (Etched in 20% NaOH aqueous solution for 3min.). (Bai, 2011)

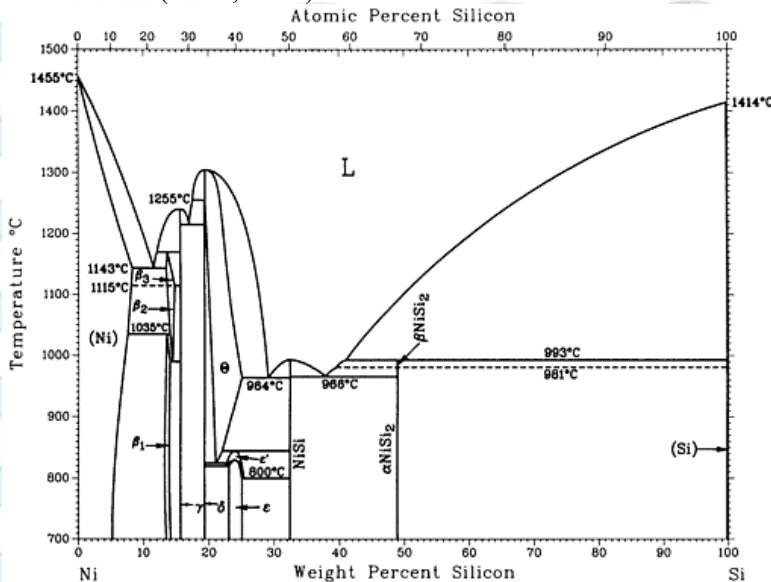
2.6 Paduan Nikel-Silikon

Paduan nikel-silikon memberikan kekuatan tinggi dan memiliki ketahanan *stress relaxation* yang baik (lei, 2013). Aplikasi penggunaan paduan nikel biasanya pada aplikasi air laut, industri dirgantara, penukar panas, jet mesin, generator uap dan reaktor nuklir (emin, 2010). Hastelloy D merupakan campuran logam dengan kadar 10% silikon. Paduan ini memberikan sifat ketahanan terhadap korosi yang disebabkan asam sulfur pada temperatur yang tinggi.

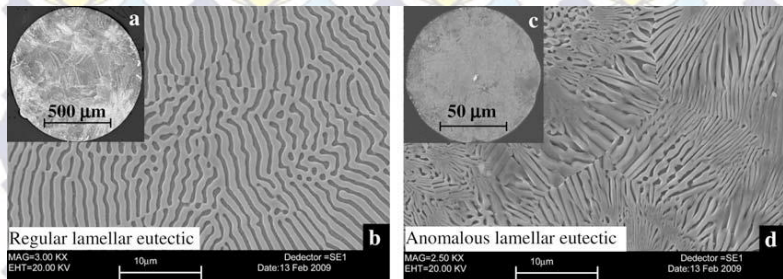


Biasanya digunakan dalam industri kimia untuk bejana tempat berlangsungnya reaksi (reaktor), evaporator, saluran perpipaan dan *fittings*.

Penambahan silikon memberikan mampu cor yang baik, hal ini disebabkan oleh pengaruh dari silikon dalam memperbaiki karakteristik pengecoran yang dikombinasikan dengan sifat mekanik dan ketahanan korosi (Zotolorovsky, 2007). Penambahan 10% silikon pada nikel base menambah *microhardness* dan tahan pada temperatur tinggi (emin, 2010). Paduan nikel-silikon memberikan struktur mikro dendrit dan berkoloni. Pada paduan Ni-7%Si membentuk fcc-Ni and 1-Ni3Si intermetallic (ercan, 2012).



Gambar 2.9 Diagram fasa Ni-Si (ASM Metal handbook vol.3,1990)



Gambar 2.10 Struktur mikro Paduan Ni-Si eutektik (Cardili, 2010)

2.7 Paduan Aluminum-Silikon-Nikel

Paduan Aluminum-silikon-nikel merupakan paduan yang jarang digunakan. Paduan Al-Si menunjukkan fluiditas yang baik, *Castability*, dan ketahanan korosi yang baik. tetapi paduan ini memiliki kekuatan rendah dan kekerasan rendah. *Ductility* yang dimiliki oleh paduan ini cukup baik, oleh karena itu banyak paduan ini digunakan untuk piston. untuk menaikkan kekerasan dan kekuatan, biasanya paduan ini di tambahkan magnesium (J.G.Kaufmann, 2011). Penambahan nikel pada paduan Aluminum-silicon menaikkan angka kekerasan dan ketahanan panas. Penambahan 5%, 10 %, 15% Ni meningkatkan *ductility* (hashem dkk, 2014).

2.8 Pengecoran

Proses pengecoran adalah salah satu proses yang sederhana dan proses langsung untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan. proses ini dibutuhkan cetakan yang diinginkan sesuai bentuk dan logam cair. pengecoran sudah dari lama digunakan oleh manusia. pengecoran yang biasa dilakukan adalah penuangan logam cair ke cetakan pasir. Tujuan dari proses pengecoran ini adalah memproduksi produk yang digunakan manusia. Pada



zaman modern ini pengecoran sudah banyak digunakan untuk memproduksi bagian-bagian dari mesin. (Karl, 2011).

Dalam berbagai hal benda-benda kerja yang dibentuk melalui proses pengecoran memiliki keunggulan baik sifat maupun efisiensinya pembentukannya, bahkan tidak dimiliki oleh bahan yang dibentuk dengan cara lain, misalnya pada besi/baja tempa, dimana benda-benda tuangan (hasil pengecoran) sifat-sifatnya dapat ditentukan oleh formulasi campuran dan dapat diperbaiki menurut kebutuhan kita, bentuk dan dimensinya dapat dibentuk melalui pengecoran ini, misalnya rongga rongga, saluran-saluran dan lain-lain yang mungkin tidak dapat dilakukan dengan cara lain, dengan demikian benda tuangan berkembang sejalan dengan modernisasi teknologi itu sendiri hal ini dikarenakan benda tuangan memiliki keunggulan dan dapat diterima diberbagai jenis produk, seperti permesinan, automotif, listrik dan elektronik, konstruksi/ bangunan gedung, assesoris dan lain-lain. Namun demikian jika kita lihat industri manufaktur yang bergerak dibidang pengecoran ini jumlahnya masih kecil dengan kualitas produknya pun masih rendah walaupun ada produk dengan kualitas tinggi tetapi masih dengan teknologi luar negeri. Hal ini menjadi tantangan bagi kita semua agar dapat berkompetisi dengan bangsa lain terutama dalam era globalisasi seperti sekarang ini (Sudjana, 2008).

2.8.1 Proses penuangan logam Aluminium

Proses peleburan aluminium pada dapur peleburan untuk mendapatkan aluminium cair yang berkualitas baik harus melewati beberapa tahapan yaitu:

a. Charging

Pada proses ini material yang berbentuk retum scrap dimasukkan terlebih dahulu ke dalam tungku. Hal ini dilakukan untuk mencegah terjadi kerusakan pada lantai atau dinding furnace. Pada proses charging ini perbandingan antara return scrap dengan ingot adalah 45%-55% pada temperatur 680°C.



b. Fluxing

Fluxing adalah proses pemasukan paduan kimia pada saat peleburan aluminium, yaitu suhu peleburan mencapai 720°C - 750°C . Proses ini bertujuan untuk:

- Mencegah terjadinya oksidasi gas.
- Melepaskan gas hidrogen.
- Mengikat kotoran.
- Memperbaiki struktur cairan aluminium.

c. Killing Time

Setelah fluks diaduk didiamkan sekitar 5-10 menit dengan tujuan untuk memberikan waktu pada kotoran kotoran agar mengambang kepermukaan cairan.

d. Dis Lagging

Kotoran-kotoran yang mengambang ditarik keluar dari cairan dan ditampung pada karet slug, kemudian diaduk-aduk untuk memisahkan cairan dengan kotoran pada karet yang dilengkapi dengan saringan (filter)

e. Tapping

Tapping adalah proses penuangan cairan logam tungku ke ladle dan dilakukan pada temperatur 720°C - 750°C . Sebelum proses tapping, ladle harus dipanaskan terlebih dahulu selama kurang lebih 15 menit dengan tujuan:

- Untuk menghindari ledakan pada saat tapping.
- Untuk menghindari penurunan temperatur cairan pada saat dipindahkan.
- Untuk menghindari *Thermal shock* pada Logam cair.

f. Distribusi Molten

Setelah cairan berada dalam ladle, cairan didistribusikan kedalam masing-masing cetakan (Tjitro, 2001)

2.8.2 Pola

Pola perlu dalam pembuatan coran. Pola yang dipergunakan untuk pembuatan cetakan pada benda coran, dapat digolongkan menjadi pola logam dan pola kayu (termasuk pola plastik). Pola logam dipergunakan agar dapat menjaga ketelitian



ukuran benda coran, terutama dalam masa produksi, sehingga unsur pola bisa lebih lama dan produktivitasnya lebih tinggi.

Bahan dari pola logam bisa bermacam-macam sesuai dengan penggunaannya. Sebagai contoh, logam tahan panas seperti: besi cor, baja cor, dan paduan tembaga adalah cocok untuk pola pada pembuatan cetakan kulit, sedangkan paduan ringan, adalah mudah diolah dan dipilih untuk pola yang dipergunakan dalam masa produksi dimana pembuatan cetakan dilakukan dengan tangan.

Pola kayu dibuat dari kayu, murah, cepat dibuatnya dan mudah diolahnya dibandingkan dengan pola logam. Oleh karena itu pola kayu umumnya dipakai untuk cetakan pasir (Surdia,2000).

2.8.3 Cetakan

Cetakan digunakan untuk membentuk model hasil coran sesuai yang diinginkan. bentuk cetakan biasanya menyesuaikan dengan tujuan pengecoran yang dilakukan. bahan yang digunakan untuk cetakan disebut "Moulding Material". Rongga cetakan harus bisa mempertahankan bentuknya agar logam cair yang masuk tidak berubah bentuk pada saat dituang. Cetakan dapat dibagi dua , cetakan permanen dan cetakan sementara. contoh cetakan permanen biasa terbuat dari Logam *Ferrous*, dan besi cor. cetakan yang bersifat sementara biasanya terbuat dari pasir refraktori,plaster,resin,lilin.

Sebagian cetakan menggunakan pasir refraktori karena lebih murah dibanding cetakan permanen yang lebih mahal.(banga, 1981).

Sifat Pasir cetakan yang dibutuhkan adalah:

1. Permeabilitas

Logam cair selalu mengandung sejumlah gas yang larut, yang berubah saat logam memadat. Selain itu saat logam cair bersentuhan dengan cetakan akan tercipta uap air. Jika gas dan uap air tersebut tidak dapat keluar dari cetakan maka akan terbentuk lubang gas dan pori pada coran.



Karena itu pasirnya harus cukup berpori agar dapat dilewati oleh gas dan uap air saat logam cair dituang. Pasir yang kasar atau mempunyai butir yang bulat mempunyai permeabilitas yang lebih baik. *Ramming* dan penambahan tanah liat akan menaikkan permeabilitas. Permeabilitas yang tidak memadai akan menyebabkan cacat seperti *surface blows*, *gasholes*, *mould blasting*, dan lain-lain.

2. Plastisitas atau Mampu Alir

Sifat ini mengarah pada kemampuan pasir cetak untuk mendapat bentuk yang ditentukan dibawah tekanan dan mempertahankannya saat tekanan dihilangkan. Untuk mendapat hasil yang baik dari pola yang ada didalam cetakan, plastisitas yang tinggi diperlukan dari pasir cetak.

3. Adhesivitas

Partikel dari pasir cetak harus mampu melekat ke bagian lain. Berarti tepi dari pasir cetak harus dapat saling melekat.

4. Kohesivitas

Kemampuan dari partikel pasir untuk saling melekat disebut “kohesivitas” atau “kekuatan”. Jika tidak mempunyai kemampuan yang cukup, maka akan menyebabkan runtuhnya pasir saat pengangkatan, pembalikan, penutupan, atau penuangan, hal ini dapat hancur atau rusak sebagian.

5. Sifat Refraktori

Kemampuan pasir cetak untuk tahan terhadap temperatur tinggi dari logam cair tanpa terjadi fusi disebut “sifat refraktori”. Pasir cetak yang mempunyai sifat refraktori yang rendah akan terbakar saat pengecoran. Bagaimanapun, pasir silika mempunyai pemuai termal yang tinggi pada 575°C.

Jika dibandingkan dengan pengecoran paduan yang mempunyai temperatur lebur yang rendah, sifat refraktori ini lebih esensial untuk pengecoran paduan yang mempunyai temperatur lebur yang tinggi seperti baja.



6. Ketahanan Kimiawi
Pasir cetak tidak boleh bereaksi secara kimiawi dengan logam karena jika pasir bereaksi maka bentuk dari coran akan menyimpang dan rusak.
7. Mampu Hancur
Sifat pasir cetak inilah yang menentukan apakah pasir cetak dapat runtuh secara otomatis saat pemadatan coran dan hancur saat pemukulan dan pembersihan.
8. Kehalusan
Pasir cetak yang lebih halus mencegah terjadinya penetrasi logam, dan memberikan permukaan yang halus pula pada coran. Kehalusan pasir dan permeabilitas pasir saling bertolak belakang. Sehingga keduanya harus seimbang untuk mencapai hasil yang optimal. Kedua sifat ini dapat dijaga dengan menggunakan pelapisan cetakan pada permukaan cetakan yang mempunyai permeabilitas yang tinggi.
9. Koefisien Pemuaian yang Rendah.
Pasir cetak harus mempunyai koefisien pemuaian yang rendah.
10. *Bench Life*
Adalah kemampuan pasir cetak untuk mempertahankan sifatnya selama penyimpanan, penanganan, penggunaan, contohnya pada saat delay.

2.8.4 Cetakan Pasir

Pasir cetak memerlukan sifat-sifat yang memenuhi persyaratan sebagai berikut (Surdia, 2000):

1. Mempunyai sifat mampu bentuk sehingga mudah dalam pembuatan cetakan dengan kekuatan yang cocok. Cetakan yang dihasilkan harus kuat sehingga tidak rusak karena dipindah-pindah dan dapat menahan logam cair waktu dituang kedalamnya. Oleh karena itu kekuatannya pada temperatur kamar dan kekuatan panasnya sangat diperlukan.
2. Permeabilitas yang cocok. Dikawatirkan bahwa hasil coran mempunyai cacat seperti rongga penyusutan, gelembung gas



atau kekasaran permukaan, kecuali jika udara atau gas yang terjadi dalam cetakan waktu penuangan disalurkan melalui rongga-rongga diantara butir-butir pasir keluar dari cetakan dengan kecepatan yang cocok.

3. Distribusi besar butir yang cocok permukaan coran diperhalus kalau coran dibuat dalam cetakan yang berbutir halus. Tetapi kalau butir pasir terlalu halus, gas dicegah keluar dan membuat cacat, yaitu gelembung udara. Distribusi besar butir harus cocok mengingat dua syarat yang disebut diatas.
4. Tahan terhadap temperatur logam yang dituang. Temperatur penuangan yang biasa untuk bermacam-macam coran dinyatakan dalam tabel dibawa

Tabel 2.8 Temperatur penuangan untuk berbagai coran (Surdia, 2000)

Macam Coran	Temperatur Penuangan (°C)
Paduan Ringan	650 – 750
Brons	1.100 – 1.250
Kuningan	950 – 1.100
Besi Cor	1.250 – 1.450
Baja Cor	1.500 – 1.550

Butir pasir dan pengikat harus mempunyai derajat tahan api tertentu terhadap temperatur tinggi, kalau logam cair dengan temperatur tinggi ini dituang kedalam cetakan.

5. komposisi yang cocok. Butir pasir bersentuhan dengan logam yang dituang mengalami peristiwa kimia dan fisika karena logam cair mempunyai temperatur yang tinggi. Bahan-bahan yang tercampur yang mungkin menghasilkan gas atau larut dalam logam adalah tidak dikehendaki.
6. Mampu pakai lagi. Pasir harus dapat dipakai berulang-ulang supaya ekonomis.
7. Pasir harus murah.



2.8.5 Toleransi Penyusutan

Semua logam yang digunakan dalam pengecoran ukurannya akan mengecil dan menyusut setelah pemadatan dan pendinginan di dalam cetakan. Untuk mengimbangi hal ini maka pola dari cetakan harus dibuat lebih besar dari ukuran coran yang sebenarnya, sesuai dengan jumlah yang disebut dengan “pengecilan pembuatan pola”. Pembuatan pola dilengkapi dengan aturan khusus dan skala yang disebut dengan “prinsip pengecilan pembuatan pola”. Dalam menyusun pengukuran dari pola, pembuat pola memperkenankan pengecilan ini dengan menggunakan aturan ini yang sedikit lebih panjang dari aturan yang sama dalam panjang yang sama. Untuk pengecoran logam yang berbeda maka mungkin akan berbeda juga prinsip pengecilannya namun pada umumnya prinsip tersebut digunakan pada setiap sisi, dimana ada 2 skala, jumlah total skalanya adalah 4 untuk 4 logam coran umum, seperti baja, besi cor, kuningan, dan Aluminium. Pembagian pada setiap skala ini ukurannya dilebihkan dengan jumlah yang proporsional, contohnya saat membuat pola untuk besi cor, pembuat pola menggunakan pengukuran prinsip pengecilan sekitar 10 mm tiap 1 meter lebih panjang dari ukuran konvensional karena besi cor menyusut 10 mm tiap 1 meter. Pola asal yang digunakan untuk membuat pola logam memerlukan penghitungan toleransi penyusutan yang ganda (Banga, 1981).

Tabel 2.9 Toleransi Penyusutan untuk Logam Cor yang Penting
(Banga, 1981)

No	Logam	Pengecilan (persen)	Pengecilan (mm per meter)
1	Besi Cor Kelabu	0,7 hingga 1,05	7 hingga 10,5
2	Besi Cor Putih	2,1	21
3	Besi Cor	1,5	15



	Mampu Tempa		
4	Baja	2,0	20
5	Kuningan	1,4	14
6	Aluminum	1,8	18
7	Paduan Aluminum	1,3 hingga 1,6	13 hingga 16
8	Tembaga	1,05 hingga 2,1	10,5 hingga 21
9	Magnesium	1,8	18
10	Seng	2,5	24
11	Baja Mangan	2,6	26,5

Jumlah penyusutan yang dicantumkan diatas dan prinsip pengecilan ini hanyalah gambaran rata-rata. Pengecilan yang sebenarnya pada pengecoran tergantung dari faktor-faktor berikut:

1. Ketebalan dan dimensi pengukuran lain dari coran.
2. Desain dan seluk-beluk dari coran.
3. Ketahanan cetakan untuk menyusut.
4. Bahan cetakan yang dipakai dan kekerasannya.
5. Metode pencetakan yang digunakan
6. Temperatur penuangan logam cair.

2.9 Pemeriksaan Coran

Pemeriksaan hasil coran adalah dimana hasil coran yang dilakukan akan diperiksa dan diuji.

Pemeriksaan coran mempunyai tujuan sebagai berikut:

1. Memelihara kualitas

Kualitas dan baiknya produk coran harus dijamin dengan jalan memisahkan dengan produk gagal

2. Penekanan biaya dengan mengetahui lebih dulu produk yang cacat

Dalam pemeriksaan penerimaan bahan baku dan bahan yang diproses sejak dari pembuatan cetakan sampai selesai

3. Penyempurnaan teknik.



Menurut data kualitas yang didapat dari awal pemeriksaan dan percobaan, menyisihkan produk yang cacat dapat dilakukan lebih awal dan selanjutnya tingkat kualitas dapat dijaga.

Pemeriksaan produk coran dapat digolongkan menjadi:

1. Pemeriksaan rupa

Dalam pemeriksaan ini yang dilihat adalah: ketidak teraturan, inklusi retakan dan sebagainya.

2. Pemeriksaan Cacat (pemeriksaan tak merusak)

Dalam pemeriksaan ini diteliti adanya cacat atau tidak dalam hasil coran seperti: rongga udara, rongga penyusutan, retakan dan sebagainya.

3. Pemeriksaan bahan

Dalam pemeriksaan ini ketidakaturan bahan diteliti. demikian juga halnya dengan komponen, struktur mikro dan sifat mekanik diperiksa.

4. pemeriksaan dengan merusak.

pemeriksaan dengan merusak dilakukan dengan cara merusak hasil coran tersebut untuk dapat melihat hasil dan kualitas dari hasil coran tersebut dan dapat membedakan dengan produk cacat dengan yang baik.

Pemeriksaan kualitas dilakukan sesuai dengan ketentuan yang dibuat sebelumnya mengenai ukuran dan jumlah contoh, sedangkan pemeriksaan kecacatan produk dilakukan setiap kali apabila diperlukan.

sebagai hasil dari pemeriksaan produk mengenai macam-macam cacat, bentuk, tempat yang diteliti, keadaan produk dan lain-lainnya harus dicatat secara tepat, selanjutnya bagi produk yang lulus pemeriksaan, tingkat kualitasnya harus dicatat dengan alur yang sama agar dapat membedakan hasil yang cacat dan yang lolos pemeriksaan (Surdia, 2000.)



2.10 *Finishing dan defect dalam Proses Pengecoran*

Proses finishing dalam pengecoran merupakan proses yang terjadi setelah penuangan dan proses pendinginan. Ada beberapa proses finishing, yaitu ;

1. Casting knock out
Pelepasan cetakan keramik dengan menggunakan mesin knocking atau biasa disebut dengan knocker.
2. Cut Off casting
Pemisahan produk dari *gating system*-nya. Proses ini menggunakan mesin potong yang digunakan adalah tipe roda pemotong dengan posisi tetap
3. Pembersihan
Ada 3 (tiga metode) ada 3 (tiga) metode yang umum digunakan. Pertama pembersihan secara *abrasive*, metode pembersihan abrasif dengan mesin Hook Shot Blasting. Pada proses pembersihan dengan Hook Shot Blasting, produk ditembaki dengan menggunakan bola baja berukuran kecil. Kedua dengan cara kimiawi atau pickling, pada proses ini benda coran dimasukkan ke dalam larutan kimia dengan komposisi 75% air, 8% HF, 17% HNO₃. Untuk yang ketiga yaitu pembersihan dengan cara penyemprotan air.
4. Grinding
Proses grinding ini bertujuan untuk meratakan permukaan hasil coran.
5. Pressing
Proses ini untuk mempresisikan produk hasil coran
Adapun untuk *defect* atau cacat yang biasa terjadi dalam proses pengecoran yaitu;
 1. Shrinkage
Penyusutan akibat adanya perbedaan temperatur pada proses penuangan.
 2. Coldshut



Rongga dengan ujung bulat terjadi karena proses pertemuan dua aliran konvergen yang tidak sempat menyatu akibat proses pembekuannya cepat. Proses pencegahan dari cacat ini yaitu memperbaiki *gating system*.

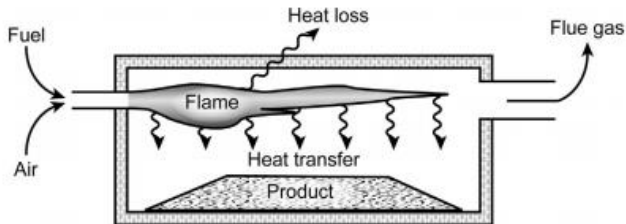
3. Inklusi keramik

Rongga akibat adanya keramik yang rontok. Cacat ini disebabkan karena lapisan keramik tergerus pada saat proses penuangan

2.11 Furnace

Furnace menurut *oxford english dictionary* adalah suatu struktur tertutup untuk melakukan pemanasan intens oleh api. sedangkan menurut kiln furnace adalah suatu tempat atau *oven* yang diunakan untuk membakar, mengeringkan.

Konsep dasar furnace dijelaskan pada gambar dibawah



Gambar 2.11 dasar proses dari furnace (Peter, 2011)

Panas yang dilepaskan oleh *burning fuel* dengan udara (kadang-kadang oksigen) atau dari energi listrik, dari proses ini panas ditransfer ke produk. sisa dari panas yang tidak terpakai akan dibuang lewat udara masuk atau output.

efisiensi dari furnace dapat dihitung :

$$\eta = Q_p / Q_s \dots\dots\dots (2.1)$$



Dimana:

η = Efisiensi Furnace

Q_p = Panas yang terserap oleh produk

Q_s = Panas yang disuplai oleh pembakaran.

Pembakaran dalam *furnace* merupakan salah satu proses yang penting dalam penggunaan *furnace*. pembakaran adalah salah satu proses reaksi kimia dimana bahan bakar dan oksigen terbakar bersama-sama dengan baik pada temperatur tinggi untuk meningkatkan panas ke produk pembakaran. bahan bakar bisa berupa gas (contoh: gas natural, hydrogen), liquid (contoh: minyak, alkohol, sulfur.), solid (contoh: batu bara).

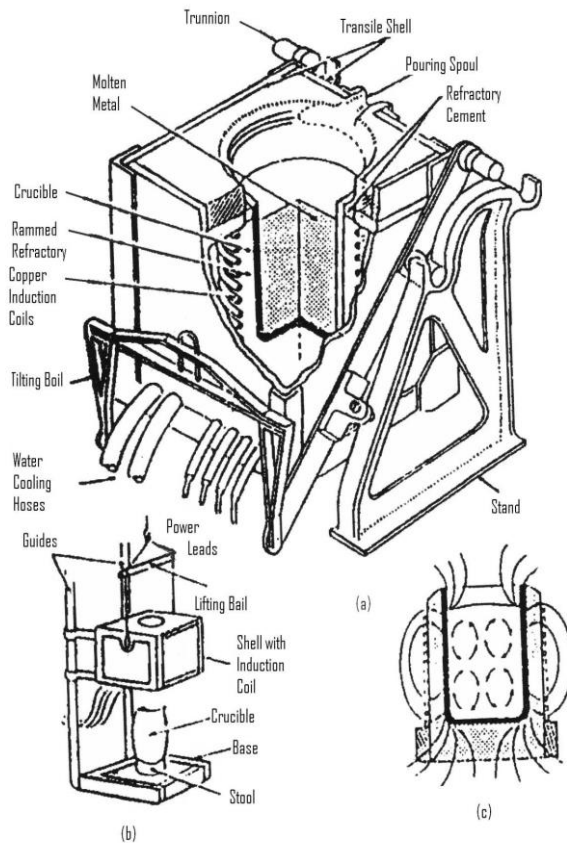
Bahan bakar dalam furnace sangat penting dalam pemilihan furnace. dalam pemilihan bakar biasanya mempengaruhi performa dari furnace tersebut. bahan bakar dipilih dilihat dari:

1. Harga dari bahan bakar
2. energi kalor
3. densitas dari bahan bakar
4. emisifitas dari produk

Gas merupakan salah satu bahan bakar yang sering dipakai untuk penggunaan furnace. Gas juga sering digunakan dikarenakan gas banyak mengandung hidrokarbon yang dimana furnace membutuhkan hidrokarbon untuk memansakan furnace dan produk

2.12 Tanur Induksi

Tanur induksi listrik adalah tanur yang melebur logam dengan medan elektromagnet yang dihasilkan oleh induksi listrik, baik yang berfrekuensi rendah maupun yang berfrekuensi tinggi. Tanur induksi biasanya berbentuk *Crucible* yang dapat dimiringkan. Tanur ini dipakai untuk melebur baja paduan tinggi, baja perkakas, baja untuk cetakan, baja tahan karat, dan baja tahan panas yang tinggi.



Gambar 2.12 Tanur Induksi (a) Penampang (b) Kumparan yang bias diangkat (c) Garis gaya pada Tanur Induksi

Tanur ini bekerja berdasarkan arus induksi yang timbul dalam muatan yang menimbulkan panas sehingga memanasi crucible dan mencairkan logam di dalam Crucible. Bentuk dari tanur induksi listrik dapat dilihat pada **Gambar 2.8** di bawah ini.



Tanur induksi bekerja dengan prinsip transformator dengan kumparan primer dialiri arus AC dari sumber tenaga dan kumparan sekunder. Kumparan sekunder yang diletakkan didalam medan mahnit kumparan primer akan menghasilkan arus induksi. Berbeda dengan transformator, kumparan sekunder digantikan oleh bahan baku peleburan serta dirancang sedemikian rupa agar arus induksi tersebut berubah menjadi panas yang sanggup mencairkannya.

Sesuai dengan frekuensi kerja yang digunakan, tanur induksi dikatagorikan sebagai tanur induksi frekuensi jala-jala (50 Hz – 60 Hz) dengan kapasitas lebur diatas 1 ton/jam dan tanur induksi frekuensi menengah (150 Hz – 10000 Hz) untuk tanur dengan kapasitas lebur rendah.

Frekuensi jala-jala pada tanur induksi frekuensi menengah diubah terlebih dahulu dengan menggunakan thyristor menjadi frekuensi yang lebih tinggi sebelum dialirkan kekumparan primer. Pemanasan hanya dilakukan pada bagian saluran cairan. Bahan cair yang panas akan bergerak keatas, sedangkan bahan cair yang dingin bergerak kebawah mengisi saluran. Dengan demikian cairan didalam tanur akan mengalami sirkulasi (SSN Situmeang, 2010).

2.13 Blok Mesin

Cylinder block atau biasa yang dikenal blok mesin merupakan komponen utama pada mesin. Blok mesin merupakan inti dari semua komponen yang diperlukan untuk mesin sehingga dapat berfungsi dengan baik. Blok mesin harus memiliki karakteristik memiliki kekuatan tinggi, modulus elastisitas, ketahanan abrasi, dan ketahanan korosi. Selain itu blok mesin harus mempunyai kemampuan meredam getaran yang baik untuk bisa menyerap getaran akibat pergerakan mesin (Nguyen, 2005).



Gambar 2.14 Blok mesin (rizal, 2012)

Blok mesin umumnya terbuat dari besi cor dan Aluminum. Paduan besi cor digunakan dengan pertimbangan harga yang murah, memiliki sifat mekanik yang bagus, dan ketersediaannya melimpah. Aluminum digunakan karena memiliki karakteristik paduan dengan berat badan rendah, sehingga membuat lebih menarik bagi produsen yang mencari keunggulan kompetitif.

Penggunaan Aluminum sebagai blok mesin dilakukan sejak 1960. Penggunaan Aluminum dinilai lebih mahal daripada besi cor. Namun, rasio kekuatan dan berat dari Aluminum menjadi pertimbangan dalam memilih bahan untuk blok mesin. Ada 2 (dua) jenis paduan Aluminum yang sering digunakan untuk blok mesin, yaitu 319 and A356 (nguyen,2005).

Aluminum 319 memiliki komposisi 85.8-91.5 wt.% Aluminum, 5.5-6.5 wt.% silikon, 3-4 wt.% tembaga, 0.35 wt.% nikel, maksimum 0.25 wt.% titanium, maksimum 0.5 wt.% manganese, maksimum 1% iron, maksimum 0.1 wt.% magnesium, and maksimum 1 wt.% zinc. Untuk Aluminum A356 memiliki komposisi 91.1-93.3 wt.% Aluminum, 6.5-7.5



wt.% silikon, 0.25-0.45 wt.% magnesium, and 0.2 wt.% copper, 0.2 wt.% Ti, 0.2 wt.% Fe, and 0.1 wt.% Zn.

Spesifikasi yang digunakan pada blok mesin yang dirancang untuk General Motors Truck/SUV Engines yaitu pada tabel 2.11. kekerasan pada desain yang dibuat oleh GM Powertrain Casting Development menghasilkan kekerasan 80 BHN. (American Foundry Society, 2004)

Tabel 2.10 mechanical properties blok mesin

Ultimate tensile strength	245MPa
Yield stress	215 MPa
Brinell hardness	80 BHN
Fatigue strength	60 MPa

2.14 Kajian Penelitian Sebelumnya

Penelitian wu uying dkk, (2008) tentang memodifikasi pengaruh Ni-38 wt.%Si pada Al-12 wt.%Si alloy. Penambahan Ni dan Si dapat merubah Si primer menjadi presipitate dalam struktur mikro Al-12wt.% Si alloy. penambahan Ni-38 wt.% Si yang menurunkan tingkat pendinginan dan pembentukan inti yang heterogen dari Al-12wt.% Si alloy. Efek modifikasi Ni-38 wt.% Si pada % Si alloy Al-12 wt.. Ni-38 wt.% Si alloy membuat Al-Si meleleh. Penambahan tersebut menurunkan melting point dan lebih mudah untuk si presipitat.

Hashem dkk, (2014) meneliti karakterisasi paduan Al-si pada piston dengan penambahan Ni dan partikel nano Al_2O_3 . Penambahan Ni cenderung membentuk struktur mikro. Semakin tinggi Ni maka struktur mikro yang terbentuk semakin banyak yang berarti semakin rapat. Kekuatan tarik meningkat dengan penambahan 5 % Ni. Penambahan Ni memberikan efek pengecilan matriks Al-Si dan meningkatkan *ductilty* dari paduan tersebut.



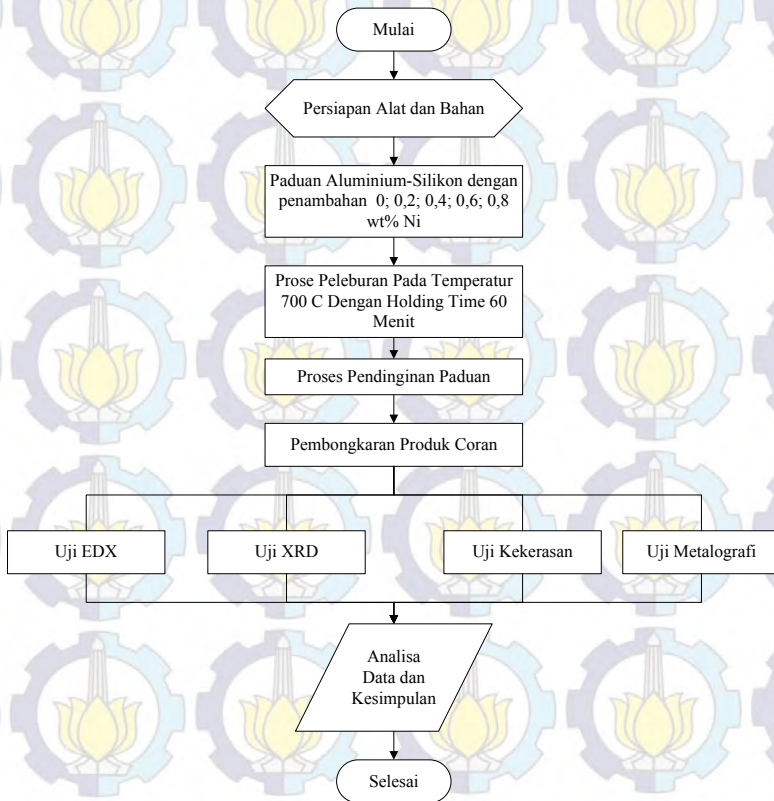
Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.

Penelitian ini dilakukan mengikuti diagram alir sesuai Gambar 3.1. Penelitian ini dimulai dengan persiapan alat dan bahan. Setelah itu dilanjutkan dengan merancang variasi penambahan seng. Selanjutnya, logam dilebur pada 700 °C dan



holding 60 menit. Logam cair dituang dan didinginkan, setelah dingin coran dibongkar dan dilakukan pengujian EDX, XRD, Kekerasan, Metalografi. Setelah itu hasil pengujian dianalisa dan ditarik kesimpulan

3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Aluminum ingot dengan kadar paduan Al-10,5Si . bahan ini diperoleh dari PT Bumi Melati Surabaya



Gambar 3.2 Al-Si ingot

2. Nikel Ingot dengan kadar 97,27 %. Bahan ini diperoleh dari PT Stucco



Gambar 3.3 Nikel Ingot

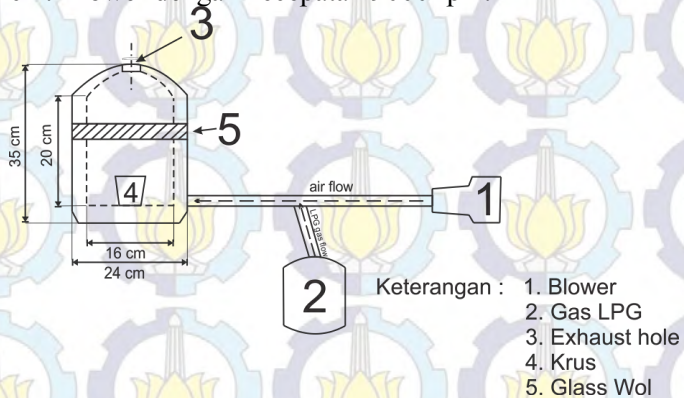


3.2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Tungku Gas

Digunakan untuk melebur paduan Al-Si-Ni, ditunjukkan pada gambar 3.4 *Burner* yang digunakan adalah milik Lab. Teknik Material dan Metalurgi ITS. Diameter luar 24 cm dan diameter dalam 16 cm. Tinggi silinder bagian dalam 20 cm. Tinggi burner 34 cm. Panjang pipa 150 cm. Blower dengan kecepatan 9000 rpm.



Gambar 3.4 Tungku Gas (*Gas Furnace*)

2. Krus

Krus Digunakan sebagai wadah aluminum dan Nikel dalam proses peleburan, ditunjukkan pada gambar 3.6



Gambar 3.5 Krus



3. Timbangan
Digunakan untuk menimbang massa bahan, ditunjukkan pada gambar 3.7



Gambar 3.6 Timbangan Digital

4. Kikir
Digunakan untuk meratakan permukaan spesimen, ditunjukkan pada gambar 3.8



Gambar 3.7 Kikir

5. Kertas Amplas
Digunakan untuk grinding spesimen, ditunjukkan pada gambar 3.9. Grade yang digunakan yaitu dari 80, 100, 150, 240, 320, 480, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000.



6. Gergaji Tangan
Digunakan untuk memotong bahan, ditunjukkan pada gambar 3.10



Gambar 3.8 Gergaji Tangan

7. Gergaji Mesin
Gergaji mesin Digunakan untuk memotong bahan, ditunjukkan pada gambar 3.11



Gambar 3.9 Gergaji Mesin

8. Pengaduk
Digunakan untuk mengaduk paduan cair. Dibuat dengan baja tulangan yang ujungnya disambung dengan keramik.
9. Mesin Uji Kekerasan
Digunakan untuk menguji kekerasan spesimen. Metode yang digunakan adalah uji kekerasan brinell.
10. Mikroskop Optik
Digunakan untuk melihat struktur spesimen dalam skala mikro.



11. Mesin *Grinding & Polishing*
Digunakan untuk mengikis permukaan spesimen agar rata dan halus.
12. Mesin EDX
Digunakan untuk mengetahui komposisi kimia spesimen.
13. Mesin XRD
Digunakan untuk mengetahui senyawa dan fasa.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi kadar penambahan unsur padu yaitu 0, 0,2 , 0,4 , 0,6 , 0,8 wt% Ni.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Persiapan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Magnesium yang kemudian ditambahkan unsur paduan Aluminium (Al) dengan kadar 0, 0,2 , 0,4 , 0,6 , 0,8 wt% Ni.

1. Kedua bahan disiapkan sebelum digunakan.
2. Menimbang Nikel dan Aluminium (Al) dengan menggunakan neraca digital. variasi kadar padu adalah 0, 0,2 , 0,4 , 0,6 , 0,8 wt% Nikel, dan memasukkan ke krus.
3. Memasukkan krus ke dalam furnace dan memanaskan hingga temperatur 1450 °C, dan menahan temperatur tersebut hingga 1 jam.
4. Membuka *furnace* dan mengaduk paduan cair dengan menggunakan pengaduk selama beberapa saat.
5. Mendinginkan paduan yang masih cair didalam furnace dalam keadaan pintu terbuka hingga mencapai temperatur kamar.
6. Mengeluarkan paduan yang telah padat dari dalam furnace.

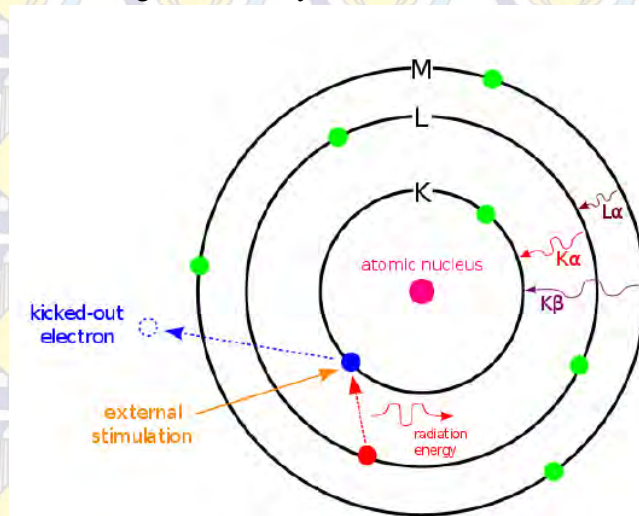


7. Mengeluarkan hasil coran dari krus.
8. Menguji EDX, XRD, Hardness test, dan Struktur mikro pada spesimen.

3.4.2 Proses Pengujian

3.4.2.1 Pengujian Komposisi EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*)

Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS atau EDX atau EDAX) adalah salah satu teknik analisis untuk menganalisis unsur atau karakteristik kimia dari spesimen. Karakterisasi ini bergantung pada penelitian dari interaksi beberapa eksitasi sinar X dengan spesimen. Kemampuan untuk mengkarakterisasi sejalan dengan sebagian besar prinsip dasar yang menyatakan bahwa setiap elemen memiliki struktur atom yang unik, dan merupakan ciri khas dari struktur atom suatu unsur, sehingga memungkinkan sinar-X untuk mengidentifikasinya.



Gambar 3.10 Skema EDX



Untuk merangsang emisi karakteristik sinar-X dari sebuah spesimen, sinar energi tinggi yang bermuatan partikel seperti elektron atau proton, atau berkas sinar X, difokuskan ke spesimen yang akan diteliti. Selanjutnya sebuah atom dalam spesimen yang mengandung elektron dasar di masing-masing tingkat energi atau kulit elektron terikat pada inti. Sinar yang dihasilkan dapat mengeksitasi elektron di kulit dalam dan mengeluarkannya dari kulit, sehingga terdapat lubang elektron di mana elektron itu berada sebelumnya. Sebuah elektron dari luar kulit yang berenergi lebih tinggi kemudian mengisi lubang, dan perbedaan energi antara kulit yang berenergi lebih tinggi dengan kulit yang berenergi lebih rendah dapat dirilis dalam bentuk sinar-X. Jumlah dan energi dari sinar-X yang dipancarkan dari spesimen dapat diukur oleh spektrometer energi-dispersif. Energi dari sinar X yang dihasilkan merupakan karakteristik dari perbedaan energi antara dua kulit, dan juga karakteristik struktur atom dari unsur yang terpancar, sehingga memungkinkan komposisi unsur dari spesimen dapat diukur. Pengujian EDX ini dilakukan untuk mengetahui komposisi yang terkandung pada permukaan plat (Zainal, 2008).

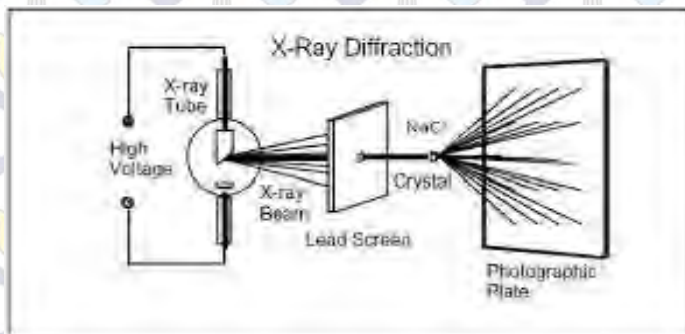
3.4.2.2 Pengujian XRD

Difraksi sinar X (X-ray Diffractometer), atau yang sering dikenal dengan XRD, adalah merupakan instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi material kristalit maupun non-kristalit, sebagai contoh identifikasi struktur kristalit (kualitatif) dan fasa (kuantitatif) dalam suatu bahan dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar X. Dengan kata lain, teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel.

Prinsip kerja XRD adalah Sinar-X dihasilkan di suatu tabung sinar katode dengan pemanasan kawat pijar untuk menghasilkan elektron-elektron, kemudian elektron-elektron



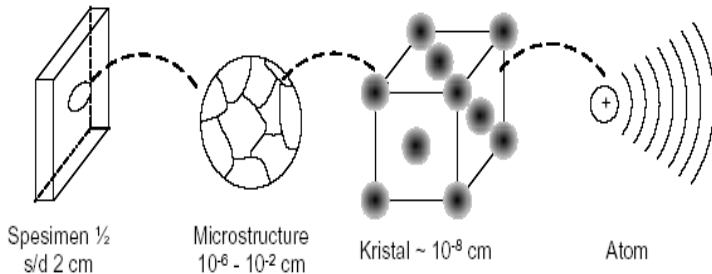
tersebut dipercepat terhadap suatu target dengan memberikan suatu voltase, dan menembak target dengan elektron. Ketika elektron-elektron mempunyai energi yang cukup untuk mengeluarkan elektron-elektron dalam target, karakteristik spektrum sinar-X dihasilkan. Spektrum ini terdiri atas beberapa komponen-komponen, yang paling umum adalah $K\alpha$ dan $K\beta$. $K\alpha$ berisi, pada sebagian, dari $K\alpha_1$ dan $K\alpha_2$. $K\alpha_1$ mempunyai panjang gelombang sedikit lebih pendek dan dua kali lebih intensitas dari $K\alpha_2$. Panjang gelombang yang spesifik merupakan karakteristik dari bahan target (Cu, Fe, Mo, Cr). Disaring, oleh kertas perak atau kristal monochrometers, yang akan menghasilkan sinar X monokromatik yang diperlukan untuk difraksi.



Gambar 3.13 Prinsip Kerja XRD

3.4.2.3 Pengujian Metalografi

Metallography adalah suatu metode untuk menyelidiki struktur logam dengan menggunakan mikroskop optik dan mikroskop elektron. Struktur atau gambar logam yang terlihat melalui pengamatan dengan mikroskop disebut mikrostruktur. Pada gambar ini terlihat daerah lingkup ukuran mikro struktur logam yang umumnya diamati dengan mikroskop

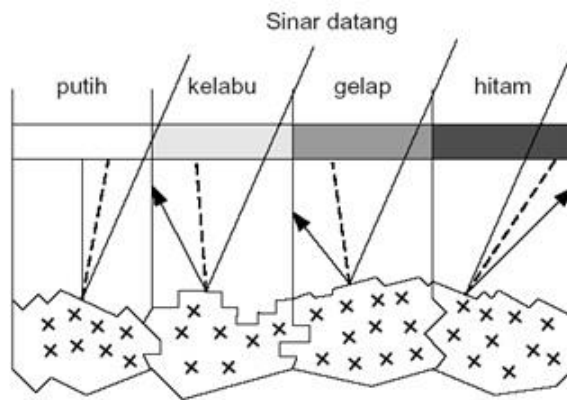


Gambar 3.12 Daerah lingkup ukuran mikro struktur

Penyelidikan mikro struktur tersebut berkisar antara 10^{-6} cm (batas kemampuan elektron mikroskop hingga 10^{-2} cm batas atas kemampuan mata manusia). Meskipun daerah lingkup pengamatan metallography ini mencakup suatu daerah yang luas ($10^{-6} - 10^{-2}$ cm) namun demikian obyek pengamatan yang biasanya digunakan yaitu 10^{-5} cm atau order pembesaran 5.000 – 30.000 kali untuk mikroskop elektron dan 10^{-3} cm atau order pembesaran 100 – 1000 kali untuk mikroskop optis.

Pengamatan Metalografi didasarkan pada perbedaan intensitas sinar pantul permukaan logam yang masuk kedalam mikroskop sehingga terjadi gambar yang berbeda (gelap, agak terang, terang). Apabila terhadap permukaan logam yang telah dihaluskan (polish) kemudian di etsa dengan larutan kimia, maka permukaan logam tersebut akan dilarutkan.

Struktur mikro yang berbeda akan dilarutkan dengan kecepatan yang berbeda sehingga meninggalkan bekas permukaan dengan orientasi sudut yang berbeda pula. Dengan demikian apabila seberkas sinar dikenakan pada permukaan logam yang telah di test maka sinar tersebut akan dipantulkan sesuai dengan orientasi sudut permukaan bidang yang terkena.



Gambar 3.13 Alur sinar pada pengamatan metalografi

3.4.2.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan yang dilakukan yakni pengujian kekerasan dengan metode Brinell. Pengujian kekerasan Brinell mempunyai cakupan yang luas sehingga dapat digunakan untuk material yang sangat lunak maupun material yang sangat keras.

Pengujian kekerasan brinell dilakukan sesuai dengan standar ASTM E10. Diameter indenter yang digunakan sebesar 2,5 mm. Dengan pembebanan sebesar 62,5 kgf. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan diameter indentasi yang kemudian dimasukkan ke dalam persamaan 3.1.

$$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (3.1)$$

Dengan P adalah pembebanan dalam satuan kgf, π adalah tetapan yakni sebesar 3,14 atau $\frac{22}{7}$, D adalah diameter indenter dalam satuan mm, dan d adalah diameter indentasi dalam satuan mm.



3.5 Rancangan Penelitian

Untuk memperoleh data yang sistematis, maka dari penelitian ini akan dibuat rancangan seperti pada table di bawah.

Table 3.1 rancangan penelitian

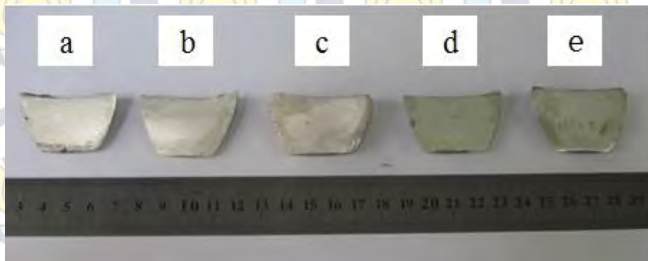
Material			Pengujian			
Al-Si (wt%)	Ni (wt %)	Sample	Uji ED X	Uji XRD	Uji Kekerasan	Uji Metalografi
100	0	AlSi-0Ni	V	V	V	V
99,8	0,2	AlSi-0,2Ni				
99,6	0,4	AlSi-0,4Ni				
99,4	0,6	AlSi-0,6Ni				
99,2	0,8	AlSi-0,8Ni				



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Coran Aluminum-Silikon-Nikel

Hasil coran berbentuk isi dari krus. Gambar 4.1 menampilkan potongan bagian penampang dari masing-masing hasil coran. Pengamatan gambar menunjukkan bahwa tidak terjadi segregasi pada spesimen sehingga ini membuktikan bahwa aluminum-Silikon dan Nikel (Ni) telah tercampur. Porositas pada paduan terlihat pada gambar 4.1 (e) di beberapa lokasi.



Gambar 4.1 Hasil coran Al 10,5Si dengan penambahan (a) 0, (b) 0,2 , (c) 0,4, (d) 0,6 dan (e) 0,8 %wt Ni

4.2 Komposisi Kimia Paduan Coran Aluminum-Silikon-Nikel

Pengujian Komposisi kimia coran Al-Si-Ni dilakukan menggunakan *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX)*. Tabel 4.1 menunjukkan komposisi paduan yang didapat dari *EDX*. Pada paduan Al-10,5 Si tanpa penambahan %wt Nikel menunjukkan 85,38% Al, 14,62% Si. Penambahan 0,2% berat Ni menunjukkan paduan coran dengan komposisi 70,17% Al, 21,72% Si, 1,98% Ni. Penambahan 0,4% berat Ni menunjukkan paduan coran dengan komposisi 79,22%Al, 18,73% Si, 2,05% Ni, Penambahan 0,6% berat Ni menunjukkan paduan coran dengan komposisi 78,73% Al, 11,81% Si 3,30% Ni , Penambahan 0,8%



berat Ni menunjukkan paduan coran dengan komposisi kimia 67,29% Al, 13,33% Si 4,78% Ni.

Tabel 4.1
Komposisi Al-Si-Ni Pengujian EDX

spesimen	Al	Si	Ni	Pengotor
AlSi-ONi	85.38	14.62		
AlSi-0,2Ni	70.17	21.72	1.98	6.14
AlSi-0,4Ni	79.22	18.73	2.05	
AlSi-0,6Ni	78.73	11.81	3.3	6.16
AlSi-0,8Ni	67.29	13.33	4.78	14.6

Faktor-faktor yang dapat menjadi penyebab hasil pengukuran yang tidak sesuai antara lain preparasi sampel. Preparasi sampel yang diujikan memilih posisi titik yang memiliki morfologi baik. Pengambilan 1 titik pada seluruh permukaan sampel tersebut berpengaruh pada hasil pengujian.

4.3 Pengamatan Hasil XRD Coran Al-Si-Ni

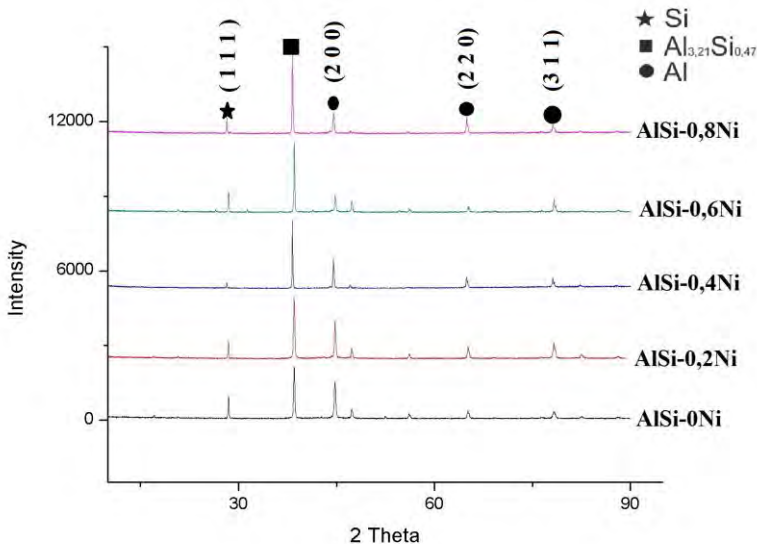
Pengujian XRD dilakukan dengan menggunakan alat XRD *PAN Analytical* untuk mengetahui fasa yang terbentuk dari hasil coran Al-Si-Ni. Identifikasi hasil XRD dilakukan dengan cara mencocokkan puncak-puncak yang teridentifikasi saat pengujian XRD dengan *database* ICDD yang sesuai.

Identifikasi fasa hasil pengujian XRD pada penelitian ini melalui *search match* dengan *Software X'pert Graphic & Identity* serta dengan pencocokan manual dengan kartu PDF dari software PCPDFWIN untuk puncak-puncak yang teridentifikasi saat *search match* dengan sebelumnya mengidentifikasi unsur-unsur atau senyawa yang dapat muncul setelah proses melting.

Dari Hasil XRD Al-10,5%Si tanpa penambahan paduan Gambar 4.2 menunjukkan bahwa terbentuk senyawa Al-Si. Dengan intensitas Al-Si yang banyak berarti dapat dikatakan



bahwa senyawa Al-Si menyebar rata sehingga semua *peak* yang dihasilkan pada pengujian XRD dimiliki oleh senyawa Al-Si dengan posisi puncak tertinggi berada pada 2 theta 38.4853. Terlihat juga terdapat fasa Al dan fasa Si yang ada di *peak* hasil XRD yang dimana Al dengan peak tertinggi berada pada 2 theta yang sama dengan $\text{Al}_{3,21}\text{Si}_{0,47}$ yaitu 38.4424. Al pada 2 theta 44.7076 tersebut memiliki struktur kristal FCC dan memiliki bidang kristal (200), sedangkan pada 2 theta 65.1232 yang memiliki bidang kristal (220) dan pada 2 theta 78,2352 memiliki bidang kristal (311). Si di peak tertinggi berada di 2 theta 28.4502 memiliki struktur kristal FCC dengan bidang kristal (111).



Gambar 4.2 Hasil pengujian XRD Coran Paduan Al-Si-Ni dengan penambahan %wt Ni

Hasil pengujian XRD Coran Paduan Al-Si-Ni menunjukkan Berdasarkan hasil uji XRD diatas tampak bahwa terjadi perubahan tinggi *peak* akibat adanya penambahan



komposisi Nikel. Secara umum kelima sampel masih terlihat memiliki pola difraksi yang sama atau belum terjadi perubahan yang signifikan. Namun jika diamatin lebih lanjut dengan *single peak analysis* terdapat kecenderungan terbentuk fasa baru dengan penambahan komposisi Nikel. Hal ini terbukti dari adanya perbedaan tinggi puncak dan timbulnya *peak* baru pada setiap variasi penambahan nikel sehingga dapat dikatakan indikasi terbentuknya fasa baru yaitu fasa $\text{AlNi}_{16}\text{Si}_9$. Pada komposisi Nikel 0,2% terlihat pada peak 47,256 dengan bidang kristal (513). Pada penambahan 0,4% tidak terlihat adanya fasa tersebut. Pada penambahan 0,6% terlihat pada peak 47.2901 dengan bidang kristal (513). Pada penambahan 0,8% terlihat pada peak 47.5791 dengan bidang kristal (513) hasil XRD hampir sama hanya ada pergeseran peak saja tetapi tidak muncul senyawa baru.

4.4 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan coran paduan Aluminum dilakukan dengan menggunakan metode uji kekerasan brinell dengan standar ASTM E10. Menggunakan bola baja dengan diameter 2,5 mm dan beban 62,5 kgf.

Tabel 4.2 dan Gambar 4.4 menunjukkan nilai kekerasan terhadap penambahan Nikel pada aluminum-silikon. Pengujian dilakukan pada 5 indentasi untuk setiap 1 spesimen sehingga didapat 5 nilai kekerasan brinell. Perhitungan nilai kekerasan diperoleh dari rata-rata nilai kekerasan brinell untuk setiap spesimen. Diameter indentasi pada spesimen uji semakin menurun seiring dengan naiknya prosentase nikel dalam paduan. Hal ini menyebabkan nilai kekerasan brinell semakin naik dengan bertambahnya kadar Nikel dalam paduan aluminum-silikon-Nikel.



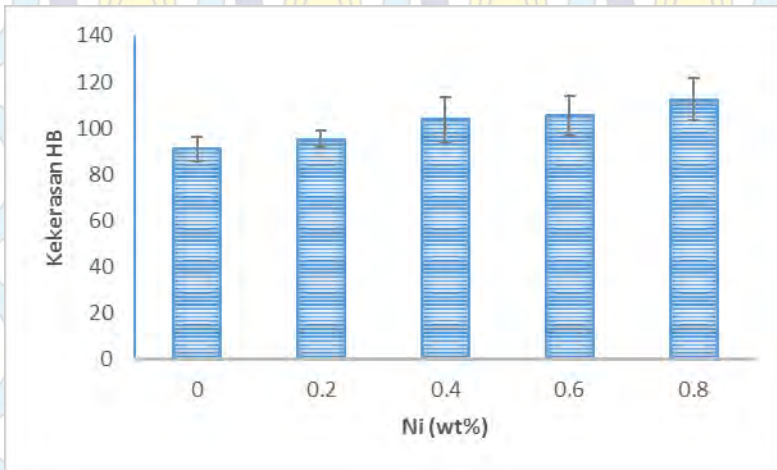
Tabel 4.2

Nilai kekerasan dari pengaruh penambahan %wt Ni

Spesimen	HB
AlSi-0Ni	90.96 ± 5.42
AlSi-0,2Ni	95.22 ± 3.68
AlSi-0,4Ni	103 ± 9.48
AlSi-0,6Ni	105 ± 8.597
AlSi-08Ni	112.4 ± 9.13

Diameter indentasi yang didapat dari hasil pengujian pada spesimen tidak selalu sama antara satu sumbu dengan sumbu lainnya. Hal ini terjadi karena terdapat kesulitan untuk menentukan tepi dari hasil indentasi pada spesimen uji namun perbedaan diameter ini masih dalam skala 10^{-5} m sehingga hanya memberi sedikit pengaruh pada hasil akhir perhitungan.

Gambar 4.4 menunjukkan nilai kekerasan brinell meningkat dengan bertambahnya prosentase Nikel dalam paduan. Nilai kekerasan pada komposisi Al-Si tanpa penambahan yaitu 90,96 HB. Penambahan 0,2 % wt Ni menghasilkan kekerasan 95,22 HB. Kekerasan pada 0,4 % wt Ni yaitu 103 HB, sedangkan pada penambahan 0,6% wt Ni nilai kekerasannya 105 HB. Kekerasan pada penambahan 0,8 % wt Ni yaitu 112,4 HB. dari hasil pengujian, kekerasan minimal pada paduan Aluminium-Silikon tanpa penambahan %wt Nikel yaitu 90,96 HB. sedangkan kekerasan maksimal pada komposisi penambahan 0,8 %wt Nikel yaitu 112,4 HB. Peningkatan kekerasan terjadi karena pada saat penambahan Ni semakin besar, Si menyebar ke dalam matriks. Dengan masuknya silikon ke dalam matriks maka matriksnya akan menjadi lebih keras, hal tersebut disebabkan karena silikon sendiri lebih keras dari pada aluminium, disamping itu juga disebabkan dengan masuknya silikon maka akan diperlukan energi yang lebih besar untuk mendeformasikan material tersebut.



Gambar 4.4 Nilai kekerasan dari pengaruh penambahan %wt Ni

4.4 Pengamatan Struktur Mikro Coran

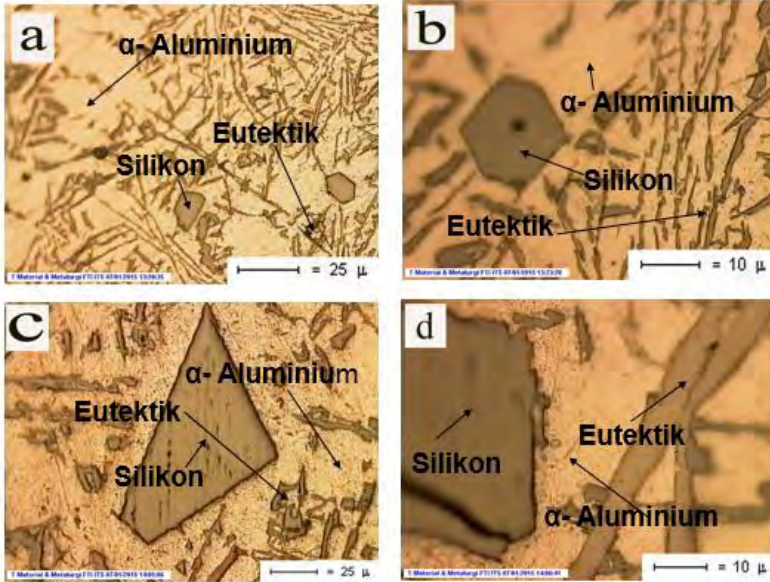
Pengujian Metalografi dilakukan sesuai standar ASTM E407. Larutan etsa yang digunakan adalah campuran antara Aquades 200 mL dan HF (*Hydrofluoric Acid*) 1 mL. Mikroskop digunakan dengan metode *Brightfield* sehingga permukaan yang tegak lurus arah lensa akan berwarna cerah, sedangkan permukaan yang tidak tegak lurus akan berwarna gelap.

Struktur mikro paduan Al-10,5%Si dengan penambahan %wt nikel dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan 4.6. Struktur mikro pada Gambar 4.5 dan 4.6 menunjukkan bahwa dengan setiap penambahan unsur nikel pada paduan akan membentuk morfologi struktur mikro yang berbeda. Terlihat pada gambar terbentuk dua fasa yang dominan dengan bentuk morfologi yang berbeda yaitu fasa α -aluminum yang berwarna terang dan fasa silikon primer yang berwarna gelap. Dengan setiap penambahan unsur Nikel, unsur-unsur silikon akan membentuk kelompok-kelompok dan juga sebagian ada yang masuk ke dalam matriksnya maupun pada fasa yang kaya silikon.

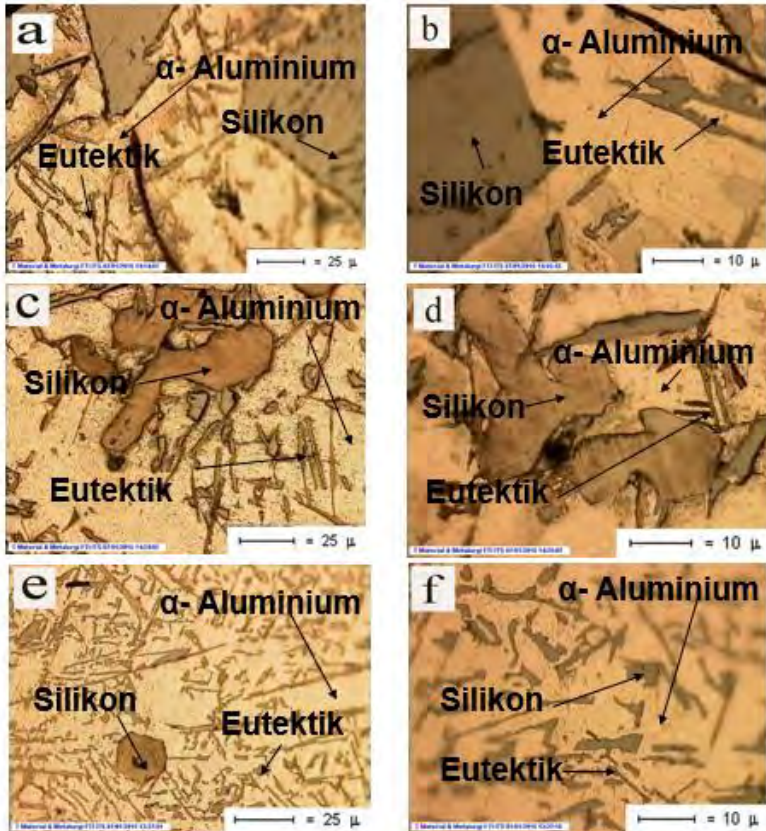


Pada Gambar 4.5.a dan gambar 4.5.b merupakan struktur mikro hasil coran tanpa adanya penambahan nikel. Gambar tersebut menunjukkan kejelasan fasa struktur mikro yang terbentuk dimana fasa eutektik yang terbentuk yaitu lamelar. Fasa α -Aluminum masih dominan dan terlihat fasa silikon primer. Pada gambar 4.5.c dan gambar 4.5.d menunjukkan gambar hasil coran dengan penambahan 0,2 %wt Ni. Gambar 4.6.a dan gambar 4.6.b menunjukkan hasil coran dengan penambahan 0,4 %wt Ni. Gambar 4.6.c dan gambar 4.6.d menunjukkan gambar struktur mikro hasil coran dengan penambahan 0,6 %wt Ni. Gambar 4.6.e dan gambar 4.6.f menunjukkan gambar struktur mikro hasil coran dengan penambahan 0,8 %wt Ni. Penambahan 0,2-0,8 %wt Ni membuat silikon masuk kedalam matrik dan mengecilkan ukuran dari silikon primer. Dengan masuknya silikon ke dalam matriks maka matriksnya akan menjadi lebih keras, hal tersebut disebabkan karena silikon sendiri lebih keras dari pada aluminum, disamping itu juga disebabkan dengan masuknya silikon maka akan diperlukan energi yang lebih besar untuk mendeformasikan material tersebut.

Fasa eutektik dalam struktur mikro semakin banyak dengan adanya penambahan Nikel. Penambahan nikel dalam jumlah sedikit yaitu 0,2 – 0,8 persen dari berat total tidak memberikan pembentukan fasa baru. Penambahan nikel memberikan efek semakin mengecilnya ukuran dari Silikon primer. Silikon larut dalam matriks dan memberikan kekerasan pada paduan Al-Si-Ni.



Gambar 4.5 Struktur Mikro Paduan (a) AlSi-0Ni Perbesaran 200x (b) AlSi-0Ni Perbesaran 500x (c) AlSi-0,2Ni Perbesaran 200x (d) AlSi-0,2Ni Perbesaran 500x



Gambar 4.6 Struktur Mikro Paduan AlSi-0,6Ni
(e) AlSi-0,4Ni Perbesaran 200x (f) AlSi-0,4Ni Perbesaran 500x (g) AlSi-0,6Ni Perbesaran 200x (h) AlSi-0,6Ni Perbesaran 500x (i) AlSi-0,8Ni Perbesaran 200x (j) AlSi-0,8Ni Perbesaran 500x



(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari studi ini adalah:

1. Penambahan nikel pada paduan Al-10,5%Si menaikkan nilai kekerasan. Nilai rata-rata kekerasan tertinggi terdapat pada hasil coran dengan 0,8 wt% Ni yaitu 112,4 HB, sedangkan nilai terendah terdapat pada hasil coran dengan 0 wt% Ni yaitu 90,96 HB.
2. Penambahan Nikel pada paduan Al-10,5%Si dapat mempengaruhi bentuk morfologi struktur mikro. Silikon primer semakin berkurang dengan penambahan % berat nikel.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya disarankan:


1. Menggunakan metode lain dalam pengujian komposisi kimia, semisal OES, atau XRF.
2. Menggunakan tungku gas dengan kondisi vakum untuk mengurangi kadar oksida yang tinggi pada paduan aluminium.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

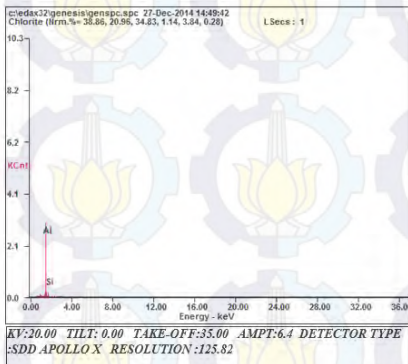
- _____. 1990. *ASM Handbook Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. ASM International Handbook Committee.
- _____. 1990. *ASM Handbook Volume 3: Alloy Phase Diagram*. ASM International Handbook Committee.
- Banga, TR., Dkk. 1981. *Foundry Engineering*. New Delhi: Khanna Publisher.
- Davis, J.R.. 2001. *Alloying: Understanding The Basic*. USA: ASM International.
- American Foundry Society. 2004. *Aluminum Cylinder Block for General Motors Truck/SUV Engines*. GM Power Casting Development.
- Harun, Mohd., Talib, I. A., Daud, A, R.. 1994. *Effect of Element Addition On Wear Property of Eutectic Aluminium-Silicon Alloys*. Elsevier Science. Wear 194: 54-59.
- Kaufman, J. Gilbert., Rooy, Elwin L.. 2004. *Aluminium Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications*. USA: ASM International.
- Leighou, Robert B. 1953. *Chemistry of Engineering Materials*. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Nguyen, Hieu. 2005. *Manufacturing Processes and Engineering Materials Used in Automotive Engine Blocks*. USA: Grand Valley State.
- O'Mara, William C., Herring, Robert B., Hunt, Lee P.. 1990. *Handbook of Semiconductor Silicon Technology*. USA: Noyes Publications.
- Smith, William F.. 1993. *Structure And Properties of Engineering Alloys*. USA: McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Surdia, Tata., Chijjiwa, Kenji. 2006. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

- 
- Surdia, Tata., Saito, Shinroku. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Tjitro, Soejono. 2001. *Pengaruh Bentuk Riser Terhadap Cacat Penyusutan Produk Cor Aluminium Cetakan Pasir*. Jurnal Teknik Mesin. Volume 3 No. 2: 41-48.
- Warmuzek, Malgorzata. 2004. *Aluminium-Silicon Casting Alloys: Atlas of Microfractographs*. USA: ASM International.
- Zolotorevsky, Vadim S., Belov, Nikolai A., Glazoff, Michael V.. 2007. *Casting Aluminium Alloys*. Elsevier Science.

Lampiran A :

Hasil Pengujian EDX

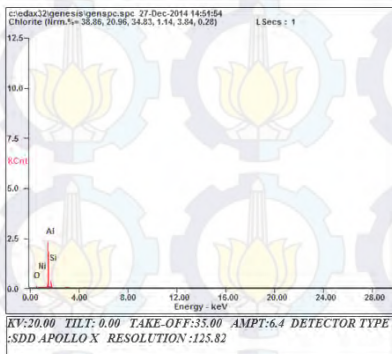
Hasil Pengujian EDX AlSi-0Ni



Element	Wt %	At %
AlK	85.38	85.88
SiK	14.62	14.12

EDX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

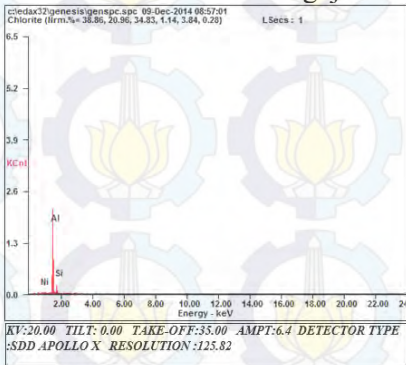
Hasil Pengujian EDX AlSi-0,2Ni



Element	Wt %	At %
O K	06.14	10.12
NiL	01.98	00.89
AlK	70.17	68.60
SiK	21.72	20.40

EDX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

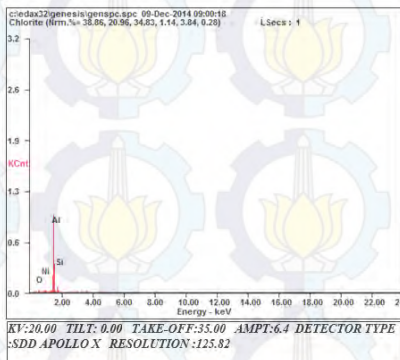
Hasil Pengujian EDX AISi-0,4Ni



Element	Wt %	At %
NiL	02.05	00.96
AlK	79.22	80.71
SiK	18.73	18.33

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

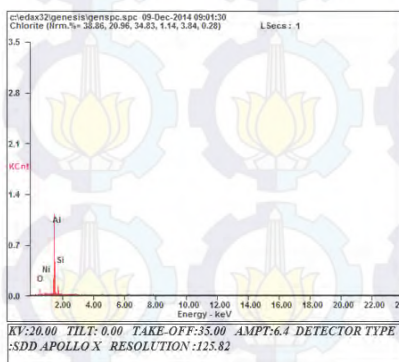
Hasil Pengujian EDX AISi-0,6Ni



Element	Wt %	At %
O K	06.16	10.19
NiL	03.30	01.49
AlK	78.73	77.19
SiK	11.81	11.13

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

Hasil Pengujian EDX AlSi-0,8Ni



Element	Wt %	At %
O K	14.60	23.03
NiL	04.78	02.05
AlK	67.29	62.94
SiK	13.33	11.98

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

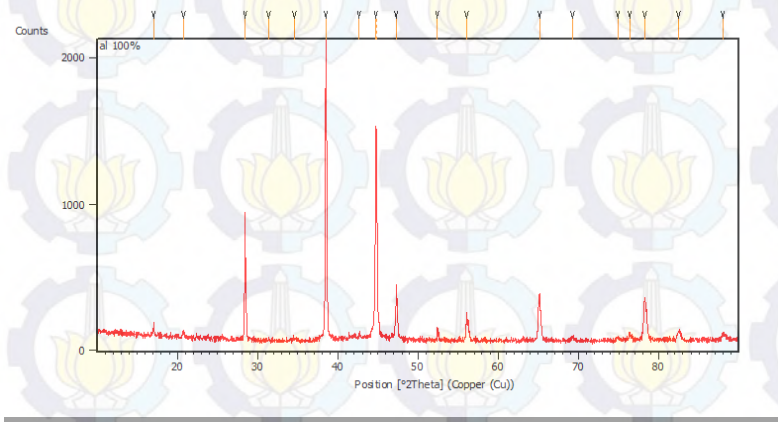


(halaman ini sengaja dikosongkan)

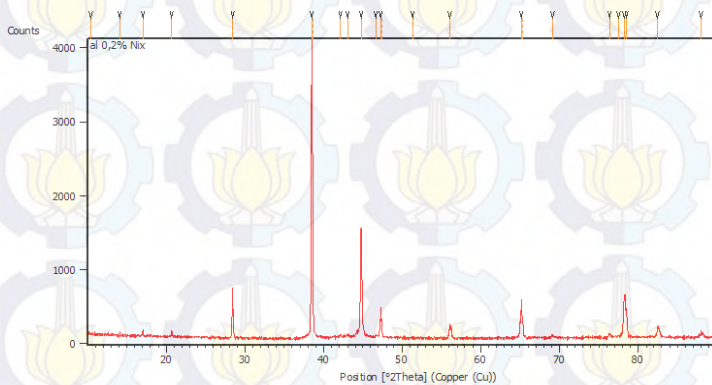
Lampiran B:

Hasil Pengujian XRD

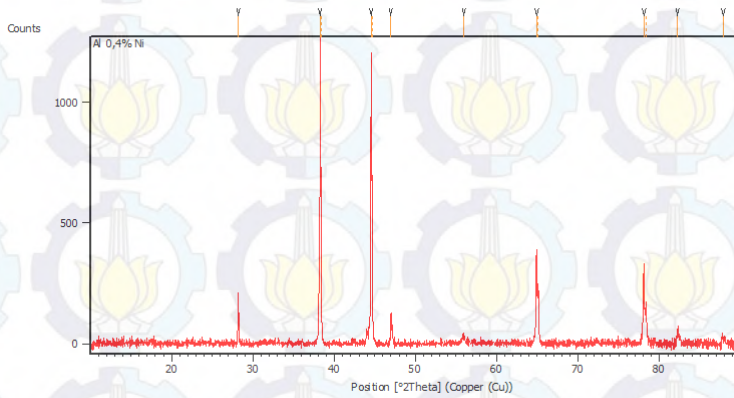
Hasil pengujian XRD AlSi-0Ni



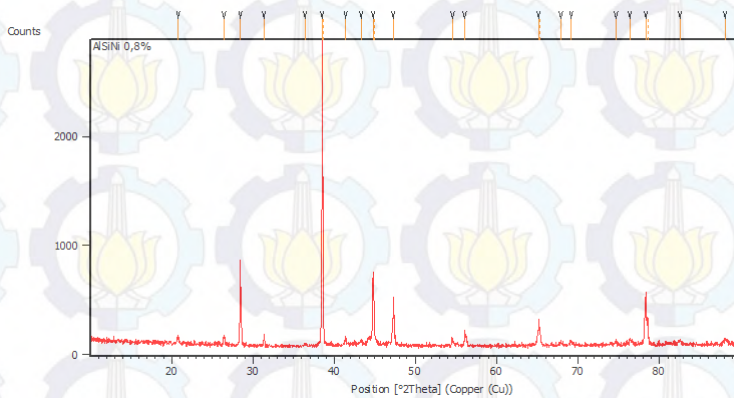
Hasil pengujian XRD AlSi-0,2Ni



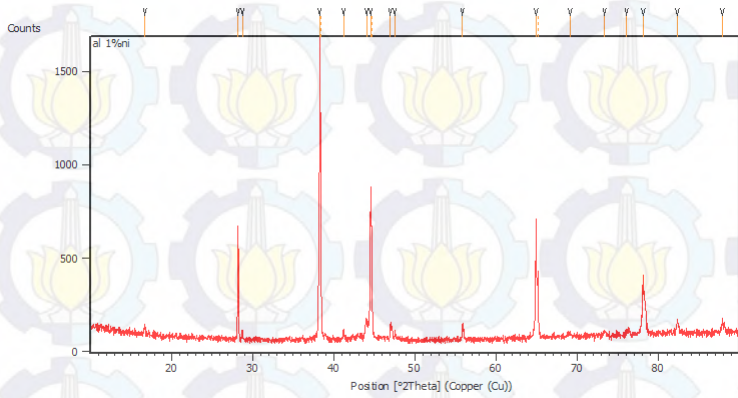
Hasil pengujian XRD AISi-0,4Ni



Hasil pengujian XRD AISi-0,6Ni



Hasil pengujian XRD AlSi-0,8Ni





(halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran C :

PDF Card

1. Name and formula

Reference code:

00-041-1222

Compound name:

Aluminum Silicon

Empirical formula:

$\text{Al}_{3.21}\text{Si}_{0.47}$

Chemical formula:

$\text{Al}_{3.21}\text{Si}_{0.47}$

Crystallographic parameters

Crystal system:

Unknown

RIR:

-

Status, subfiles and quality

Status:

Marked as deleted by ICDD

Subfiles:

Alloy, metal or intermetallic

Inorganic

Quality:

Low precision (O)

Comments

Creation Date:

7/23/1990

Modification Date:

1/11/2011

Analysis:

Contains the following (wt.%):

Cu 0.03, Mg 0.13, Fe 0.41, Mn

0.21, Ni 0.12, Zn 0.29, Pb 0.04, Sn 0.12, Ti 0.06. Deleted Or Rejected By: Delete: mixture of "Al" & "Si"; WFM 4/95.
Reason O Quality Was Assigned: O assigned because unindexed. Sample Source or Locality: Sample obtained from Bureau of Analysed Standards (British Chemical Standards), UK.

References

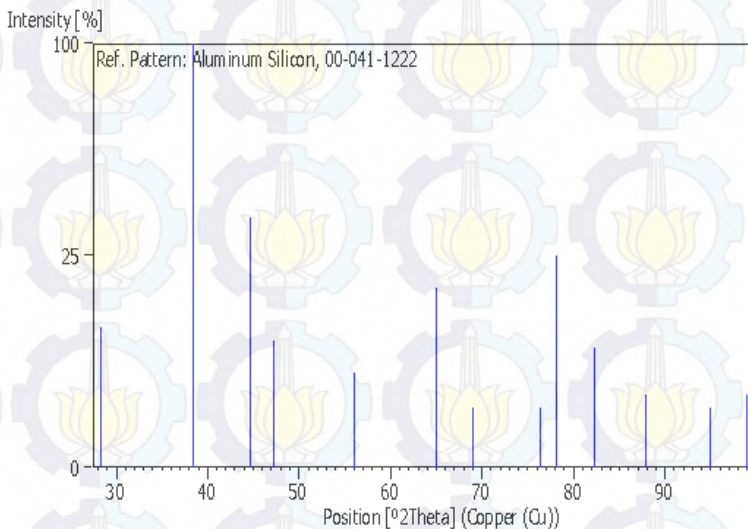
Primary reference:

Acharya, B., Regional Research Laboratory, Bhubaneswar, Orissa, India., *ICDD Grant-in-Aid*, (1990)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1				3.14230	28.380	11.0
2				2.34320	38.384	100.0
3				2.02810	44.644	35.0
4				1.92230	47.246	9.0
5				1.63960	56.044	5.0
6				1.43340	65.013	18.0
7				1.35930	69.039	2.0
8				1.24690	76.307	2.0
9				1.22220	78.138	25.0
10				1.17010	82.344	8.0
11				1.10940	87.949	3.0
12				1.04570	94.891	2.0
13				1.01310	98.988	3.0

Stick Pattern



2. Name and formula

Reference code: 00-003-0544

Compound name: Silicon

Empirical formula: Si

Chemical formula: Si

Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic

a (Å):	5.4200
b (Å):	5.4200
c (Å):	5.4200
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000

Measured density (g/cm ³):	2.42
Volume of cell (10 ⁶ pm ³):	159.22

RIR:	-
------	---

Status, subfiles and quality

Status:	Marked as deleted by ICDD
Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic Inorganic
Quality:	Low precision (O)

Comments

Color:	Black
Creation Date:	1/1/1970
Modification Date:	1/11/2011
Color:	Black
Deleted Or Rejected By:	Deleted by NBS
Melting Point:	1703 K.

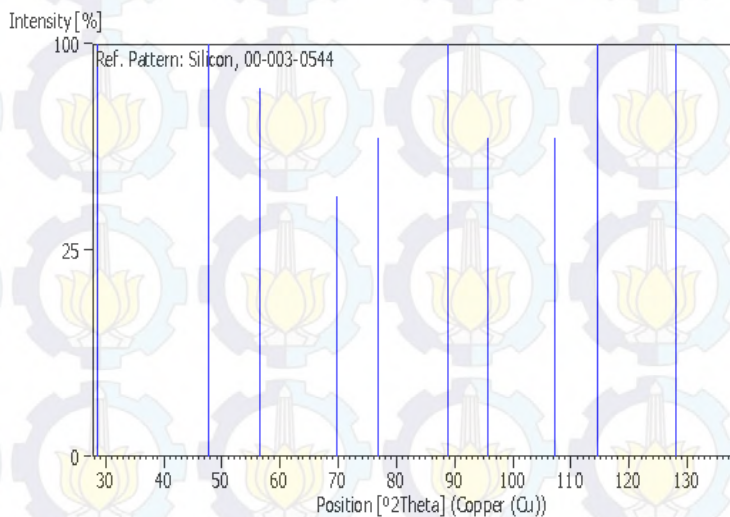
References

Primary reference:	Baumann, Jr., H., <i>Trans. Electrochem. Soc.</i> , 80 , 95, (1941)
--------------------	--

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	3.12000	28.587	100.0
2	2	2	0	1.91000	47.569	100.0
3	3	1	1	1.63000	56.403	80.0
4	4	0	0	1.35000	69.583	40.0
5	3	3	1	1.24000	76.809	60.0
6				1.10000	88.898	100.0
7	5	1	1	1.04000	95.578	60.0
8	4	4	0	0.95800	107.041	60.0
9	5	3	1	0.91600	114.479	100.0
10	6	2	0	0.85700	128.010	100.0
11	5	3	3	0.82600	137.677	60.0

Stick Pattern



3. Name and formula

Reference code: 00-003-0932

Compound name: Aluminum

Empirical formula: Al

Chemical formula: Al

Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic

a (Å): 4.0390

b (Å): 4.0390

c (Å): 4.0390

Alpha (°): 90.0000

Beta (°): 90.0000

Gamma (°): 90.0000

Volume of cell (10^6 pm^3): 65.89

Z: 4.00

RIR: -

Status, subfiles and quality

Status: Marked as deleted by ICDD

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
Inorganic

Quality: Low precision (O)

Comments

Creation Date: 1/1/1970
Modification Date: 1/11/2011
Deleted Or Rejected By: Deleted by NBS card.

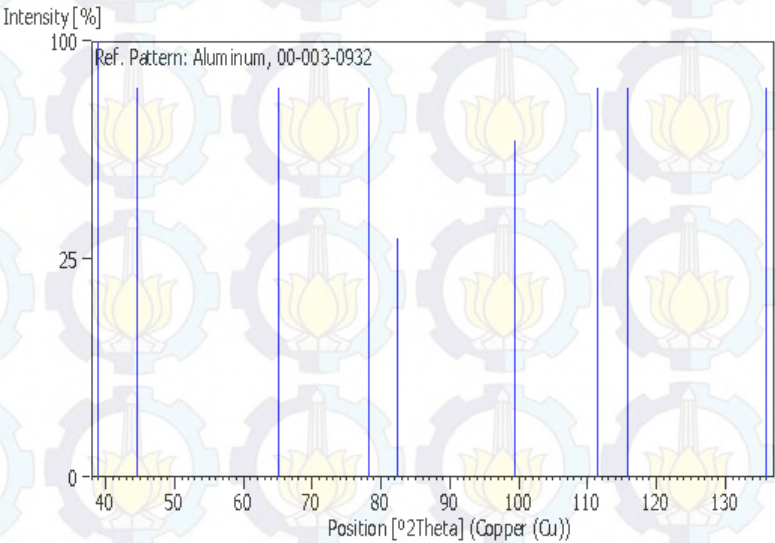
References

Primary reference: Olshausen., *Z. Kristallogr., Kristallgeom., Kristallphys., Kristallchem.*, **61**, 475, (1925)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	2.32000	38.784	100.0
2	2	0	0	2.03000	44.600	80.0
3	2	2	0	1.43000	65.186	80.0
4	3	1	1	1.22000	78.306	80.0
5	2	2	2	1.17000	82.352	30.0
6	4	0	0	1.01000	99.401	60.0
7				0.93200	111.482	80.0
8				0.90900	115.863	80.0
9				0.83100	135.930	80.0

Stick Pattern



BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Ahmad Saifullah dilahirkan di kota Gresik, 20 April 1993, merupakan putra dari pasangan Bapak Rofi'an dan Ibu Nur Hamidah. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu MI AL ISLAH Ketapanglor, SMP Negeri 1 Bungah, dan SMA Negeri 1 Sidayu Gresik. Setelah lulus dari SMA tahun 2011, penulis diterima menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

Penulis aktif sebagai staff Departemen Riset dan Teknologi periode 2012/2013. Aktif staff Kementerian Kesejahteraan Mahasiswa BEM ITS periode 2012/2013. Aktif sebagai Staff Ahli Kementerian Kesejahteraan Mahasiswa BEM ITS 2013/2014.

Dalam kegiatan akademik, penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT Zenith Allmart Precisindo Sidoarjo. Di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ini penulis mengambil Tugas Akhir dalam Bidang Studi Metalurgi Manufaktur.

Alamat penulis saat ini adalah Ketapanglor Ujung Pangkah Gresik Nomor telepon selular yang dapat dihubungi 085234718912 dan 085732201112 atau alamat email *ahmad.saifullah4112@gmail.com*